
Schutzgut Wasser

Limnologie

Inhalt

1	Einleitung.....	1
2	Methoden.....	2
3	Lage und Umfeld des Baggersees.....	3
3.1	Nutzung des Umlands.....	3
3.2	Lage zu anderen Steh- und Fließgewässern.....	4
3.3	Einzugsgebiet und Lage im Grundwasserströmungsfeld.....	5
3.4	Windverhältnisse und Geländestruktur.....	5
3.5	Schutzgebiete, Vorranggebiete.....	5
3.6	Nutzung des Baggersees.....	6
4	Morphometrie des Baggersees.....	7
4.1	Einführung.....	7
4.2	Beschreibung und Bewertung.....	8
5	Ergebnisse der vormaligen chemisch-physikalischen Gewässeruntersuchungen.....	13
6	Kriterien für die Zustandsbewertung von Baggerseen.....	15
7	Ergebnisse der chemisch-physikalischen Gewässeruntersuchungen.....	16
7.1	Durchgeführte Untersuchungen 2009-2021.....	16
7.2	Tiefenprofile: Schichtungsverteilung, Sauerstoffhaushalt und Ionenverteilung.....	18
7.2.1	Temperaturverteilung.....	18
7.2.2	Sauerstoffverteilung.....	19
7.2.3	Leitfähigkeit.....	20
7.2.4	pH-Wert.....	21
7.2.5	Aquiferanbindung.....	21
7.2.6	Sichttiefe und Chlorophyll.....	23
7.3	Ergebnisse der chemischen Parameter.....	24
7.3.1	Phosphorhaushalt.....	24
7.3.2	Stickstoffhaushalt.....	25
7.3.3	Silizium.....	26

7.3.4	Schwefelhaushalt	26
7.3.5	Eisen und Mangan	26
7.3.6	DOC: Gelöste organische Substanz	27
7.3.7	Andere anorganische Salze (Kationen, Anionen)	27
7.4	Ergebnisse der Sedimentuntersuchungen	28
7.5	Bewertung	29
7.5.1	Sichttiefe	29
7.5.2	Chlorophyll	30
7.5.3	Gesamtphosphor	30
7.5.4	Sauerstoff	31
7.5.5	Schwefelwasserstoff	31
7.5.6	Ammonium	31
7.5.7	Zirkulation	32
7.5.8	Zusammenfassung	32
8	Gewässerökologische Bestandsaufnahme	34
9	Mögliche Nährstoffbelastungsquellen	34
9.1	Eintragungspotenzial durch Grundwasserzufluss	35
9.2	Eintragungspotenzial durch Badenutzung	37
9.3	Eutrophierungspotenzial durch Angelnutzung	38
9.4	Rücklaufwasser der Kieswaschanlage	40
9.5	Weitere Nährstoffbelastungen	42
9.6	Zusammenfassende Bewertung	43
10	Prognose der Gewässerentwicklung und Konfliktbewertung	44
10.1	Allgemeines zur Sukzession von Baggerseen	44
10.2	Prognose der weiteren Entwicklung	45
10.2.1	Nährstoffhaushalt	45
10.2.2	Zirkulationsverhalten und Sauerstoffhaushalt	47
10.3	Konfliktbewertung	47
11	Maßnahmenempfehlungen	48
11.1	Morphologie und Ausrichtung der Seen	48
11.2	Uferböschungen	49

11.3 Minimierung von Nährstoffeinträgen	49
12 Zusammenfassung.....	50
13 Literatur.....	52

Abbildungen

Abbildung 1: Lage des Baggersees.....	3
Abbildung 2: Lage des Baggersees zu Wasserschutzgebieten (blaue Schraffur)	6

Tabellen

Tabelle 1: Morphometrie/Topografie der Kiesgrubenerweiterung Kippenheimweiler	9
Tabelle 2: Kriterien für die Zustandsbewertung natürlicher Seen, aus LFU (2004).....	15
Tabelle 3: Kriterien für die Zustandsbewertung von Baggerseen in Baden-Württemberg	16
Tabelle 4: Überblick über die ausgewerteten Gewässeruntersuchungen.....	16
Tabelle 5: Analysewerte an den Grundwassermessstellen und am Baggerseegrund im Vergleich.....	22
Tabelle 6: Phosphorbelastung im Sediment von älteren Baggerseen (LfU Karlsruhe 1994, zitiert aus BOOS & STROHM 1995)	28
Tabelle 7: Kenngrößen für kritisch belastete Baggerseen (aus: LFU 2004).....	32
Tabelle 8: Gesamtdarstellung der Einstufung der relevanten Parameter aus den Messungen	33
Tabelle 9: Stickstoff- und Phosphorflächenbelastung durch Badenutzung.....	37
Tabelle 10: Phosphorflächenbelastung durch Angelnutzung.....	39
Tabelle 11: Stickstoff- und Phosphorflächenbelastung durch Rücklaufwasser der Kieswaschanlage.....	41

1 Einleitung

Der Kiesabbau der Firma Vogel-Bau GmbH im Waldmattsee bei Kippenheimweiler soll um 6,75 ha nach Süden erweitert werden („Süderweiterung“).

Eine alternative Erweiterungsfläche wäre die sog. „SO-Erweiterung“ (3,5 ha).

Im vorliegenden Gutachten wird vornehmlich die „Süderweiterung“ betrachtet.

Mit der geplanten Erweiterung wird die bisherige Abbautiefe von 60 m (= Abbausohle bei 99 m üNN) beibehalten. Der Mittelwasserspiegel ist auf 157,50 m üNN festgelegt.

Das geschätzte Abbaudauer auf der geplanten „Süderweiterung“ beträgt 15,5 Jahre (inkl. Restabbau im genehmigten Bereich).

Mit dem Vorhaben vergrößert sich der Baggersee von derzeit ca. 21 ha (Bestand 2021, genehmigt 26,62 ha): auf 32-33 ha. Bei Anlage der neuen Seefläche werden nach Vorgabe des Ortenaukreises randlich ausreichend Flachwasserzonen belassen.

Das Nordufer des Sees wird als Freibad genutzt. Die für den Badebetrieb notwendigen Ver- und Entsorgungseinrichtungen sind vorhanden. Träger dieser Nutzung ist die Stadt Lahr. Der Baggersee wird außerdem vom örtlichen Angelsportverein als Angelgewässer genutzt. Der See hat keine oberirdischen Zu- bzw. Abflüsse.

Im Rahmen der Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) zum Planfeststellungsverfahren für die Baggerseeerweiterung wird auf der Grundlage chemisch-physikalischer Untersuchungen im See und je einer ober- und unterstromigen Grundwassermessstelle der Stoffhaushalt des Gewässers zum Zeitpunkt der Probennahme eingeschätzt (Sommerstagnation, Frühjahrszirkulation).

Das vorliegende Gewässergutachten basiert z.T. auf dem für die vorangegangene UVPs 1996 bzw. 2011 erstellten Fachgutachten „Schutzgut Oberflächenwasser/Limnologie“ (jeweils ebenfalls Süderweiterungen) bzw. schreibt das Gutachten aus 2011 fort, mit aktualisiertem Datenmaterial und den erforderlichen Anforderungen und Bewertungskriterien (Leitfaden „Kiesgewinnung und Wasserwirtschaft“, LFU 2004).

Nach der UVP 2011 handelt es sich um einen sich regelmäßig durchmischenden Baggersee noch ausreichender Gewässergüte bezüglich Sauerstoff- und Nährstoffgehalte. Zukünftig eutrophierungsrelevante Zuflüsse sind v.a. durch das oberstromige Grundwasser mit Nährstoffeintrag aus der Landwirtschaft im Einzugsgebiet zu erwarten.

Ziel des Gutachtens ist die Beschreibung und Bewertung des limnologischen IST-Zustandes einschließlich der Prognose über die voraussichtliche Entwicklung des Trophiezustandes unter Berücksichtigung der Grundwasserbeschaffenheit, der natürlichen Seenalterung und der Nutzung des Sees und seines Einzugsgebietes.

2 Methoden

Im Rahmen des Kiesabbaus werden am Waldmattsee regelmäßig chemisch-physikalische Gewässeruntersuchungen (Gewässermonitoring) durchgeführt. Untersuchungsumfang und Untersuchungszeitpunkte orientieren sich am Leitfaden „Kiesgewinnung und Wasserwirtschaft – Empfehlungen für die Planung und Genehmigung des Abbaus von Kies und Sand“ (LFU 2004).

Für die UVP 2021 wird das Gutachten der UVP 2011 fortgeschrieben. Grundlegende limnologische Verhältnisse werden von dort übernommen. Die seither gelaufenen Messergebnisse des Seewassermonitorings (inkl. Grundwasseruntersuchungen) werden eingearbeitet. Mögliche Veränderungen oder Entwicklungstendenzen der Gewässersituation am Waldmattsee werden aufgezeigt. Die Vorgaben und Richtwerte des Leitfadens „Kiesabbau und Grundwasser“ (LFU 2004) werden bei der Interpretation und Bewertung der Messdaten berücksichtigt.

Das vorliegende Gutachten macht Aussagen zu: Trophiezustand des Baggersees; Nährstoffpotenziale im Pelagial, Sediment, Grundwasser; Sauerstoffhaushalt, Zirkulationsverhalten im See; Defizite des Gütezustandes mit Angabe der wahrscheinlichen Hauptursachen.

Das aktuelle Fischartenspektrum wurde durch eine kombinierte Netz-/Elektrobefischung ermittelt.

Auswirkungen der Seebeckengestalt und –ausrichtung auf die Durchmischung und den Grundwasserdurchfluss werden beschrieben.

Auf der Grundlage der heutigen und geplanten Seebeckenform, der Ergebnisse der chemisch-physikalischen Untersuchungen (Stoffhaushalt), des aktuellen gewässerökologischen Zustandes und der zu ermittelnden Nährstoffeintragspotenziale wird eine Prognose über die Beschaffenheitsentwicklung des Sees während und nach der Auskiesungsphase erstellt.

Auswirkungen der Baggerseeerweiterung auf den Seenhaushalt werden beschreiben und mögliche Konflikte abgeleitet. Im Rahmen der UVP werden Maßnahmen empfohlen, wie dem Eingriff in den Gewässerhaushalt entgegengewirkt werden kann.

3 Lage und Umfeld des Baggersees

3.1 Nutzung des Umlands

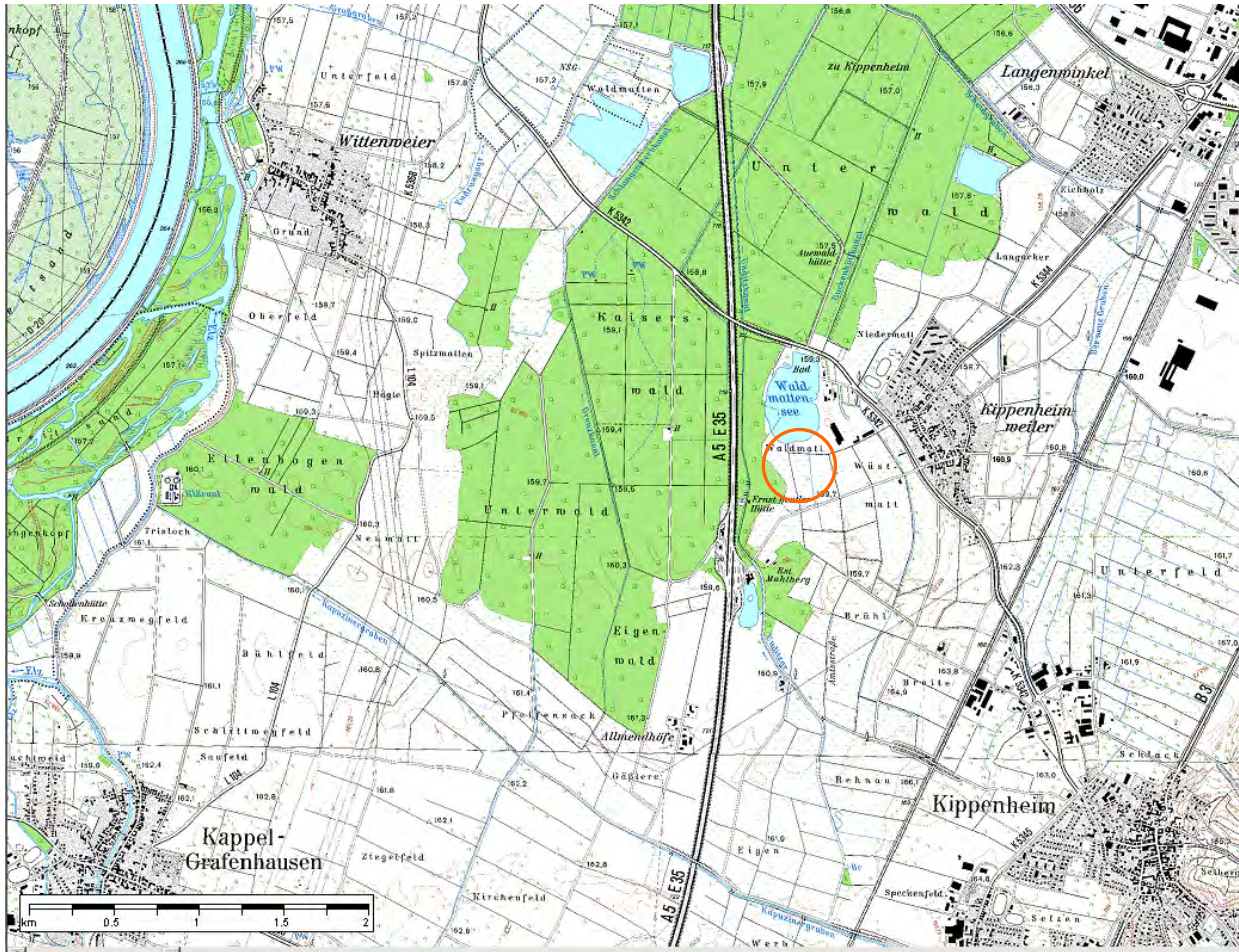


Abbildung 1: Lage des Baggersees

Die Lage des Baggersees ist in Abbildung 1 dargestellt: Der Baggersee liegt auf einer Höhe von 159 m üNN in rel. ebenem Gelände. Die Flächen im Umland des Baggersees werden vorwiegend forstlich und landwirtschaftlich genutzt. Ca. 400m östlich der Süderweiterung liegt die Ortschaft Kippenheimweiler. Ca. 270 m westlich verläuft die Autobahn A5.

Situation im Grundwasserzustrombereich (Grundwasserfließrichtung = N): Im Zustrombereich südlich des Baggersees wird überwiegend intensive Landwirtschaft betrieben (Ackerbau: 2021 v.a. Mais und Getreide; kleinflächig Grünland).

Westlich und nördlich des Baggersees, also im Abstrombereich, schließen großflächig Waldflächen („Kaiserswald“, „Unterwald“: rel. naturnaher Laubwald) an. Die Wälder grenzen direkt an das Westufer des Baggersees, sie bilden eine Pufferfläche zur Autobahn.

3.2 Lage zu anderen Steh- und Fließgewässern

Der Baggersee besitzt keine oberirdischen Zu- oder Abflüsse. Im Umfeld des Baggersees befinden sich weitere künstliche, keine natürlichen Stillgewässer.

- ehem. Baggersee an der Raststätte Mahlberg (ca. 2 ha), > 600 m südwestlich des Waldmattsees; als „naturnaher Weiher“ geschütztes Biotop
- ehem. Baggersee W Langenwinkel im Unterwald (ca. 6,5 ha), ca. 1,3 km nordöstlich
- Baggersee der Firma Vogel-Bau bei Nonnenweiher (> 15 ha), ca. 1,5 km nordwestlich

Alle Seen liegen außerhalb des Einzugsgebiet des Waldmattsees. Es lassen sich keine Wechselbeziehungen zwischen den genannten Seen erkennen.

Das im Gebiet anstehende Grundwasser wird durch ein mehr oder weniger dichtes Netz aus Gräben und Kanälen entwässert, um bei Grundwasserflurabständen > 1,0 m die landwirtschaftliche Nutzung zu ermöglichen. Keiner dieser Wasserläufe hat Verbindung zum Baggersee:

- Im Westen fließt in einem Abstand von mind. 110 m zum Waldmattsee der Unditzkanal parallel zur Autobahn in nördliche Richtung. Er ist Vorfluter für die bei der Raststätte Mahlberg gelegene Kläranlage. Das Gelände zwischen Unditzkanal und Baggersee ist mit Wald bestockt. Das Wasser des Unditzkanal wird der Unditz zugeleitet.
- Nördlich des Waldmattsees wurde im Gemeindegewald, Distrikt Auwald, der Buckenhöllkanal zur Entwässerung angelegt (Fließrichtung Nord).
- In einer Entfernung von ca. 270 m zur Süderweiterung verläuft im Osten, zwischen Baggersee und Kippenheimweiler, der Mittelgraben, der jenseits der K 5342 in den Niedermattengraben einmündet (Fließrichtung Nord). Der Mittelgraben entwässert die landwirtschaftlichen Nutzflächen im Bereich des Abbauvorhabens, im Zustrombereich des Baggersees. Von ihm zweigen an verschiedenen Stellen Seitengräben ab. Im Bereich der Erweiterung führt er nur selten Wasser, etwa nach stärkeren Niederschlagsereignissen.
- Vorfluter für den Buckenhöllkanal und den Niedermattengraben ist der Scheidgraben (im Unterwald W Lahr), dessen Wasser ebenfalls der Unditz im Norden zufließt.

Die beschriebenen anthropogen geschaffenen oder veränderten Fließgewässer zeichnen sich durch überwiegend geradlinigen Verlauf teilweise nur zeitweise Wasserführung aus.

3.3 Einzugsgebiet und Lage im Grundwasserströmungsfeld

Entsprechend den Ergebnissen des hydrogeologischen Gutachtens, das Bestandteil der Antragsunterlagen ist, fällt die Grundwasseroberfläche gegen Norden ein.

Entsprechend der Grundwasserfließrichtung liegt das Einzugsgebiet des Baggersees im Süden. Dieses Gebiet wird zum überwiegenden Teil intensiv ackerbaulich genutzt.

3.4 Windverhältnisse und Geländestruktur

Die in Süddeutschland vorherrschenden westlichen Winde werden aufgrund der großräumigen Lage im Rheintal in südwestliche Winde abgelenkt (s. Schutzgut Klima).

Die in dieser Richtung dem Baggersee vorgelagerten Flächen sind geländemorphologisch eben ausgebildet. Von Westen wird der Baggersee jedoch z.T. durch die benachbarten Waldflächen abgeschirmt, so dass hier lokal v.a. südliche Winde wirksam werden. Der geringe Bewuchs im Süden führt zu einer nahezu ungehinderten Beschleunigung der Winde über der freien Flur. Lediglich der Bewuchs und die Randwälle unmittelbar am Ufer des Baggersees mindern den freien Windzutritt zur Wasserfläche.

3.5 Schutzgebiete, Vorranggebiete

Ca. 270 m westlich der geplanten Süderweiterung liegt an der Autobahn das Wasserschutzgebiet (WSG) „Lahr – Kaiserwald“ (324 ha) (s. Abbildung 2). Die WSG-Zonen I und II liegen dabei in ca. 1 km Entfernung zum Kiesabbauvorhaben im NW des WSG.

Überschwemmungsgebiete sind nicht ausgewiesen (fehlende geeignete Fließgewässer), ebenso existieren keine Quellenschutzgebiete.

Vorranggebiete zur Sicherung von Wasservorkommen bestehen im Gebiet nicht.

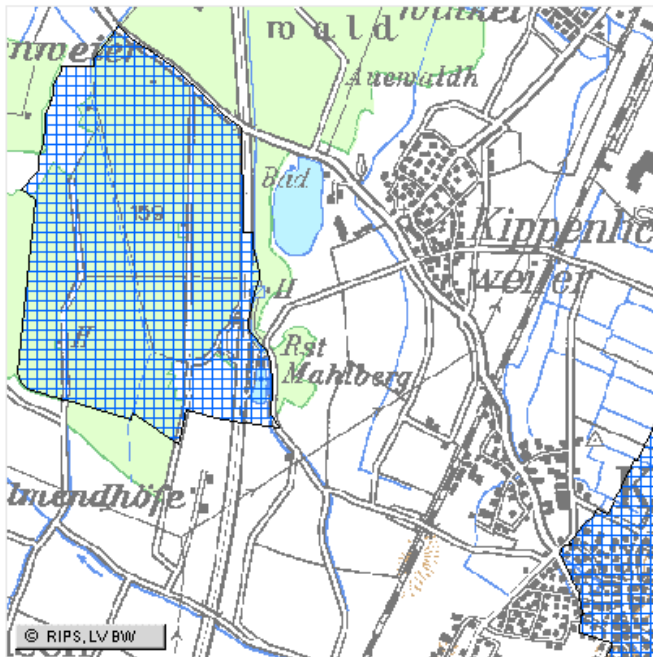


Abbildung 2: Lage des Baggersees zu Wasserschutzgebieten (blaue Schraffur)

3.6 Nutzung des Baggersees

Der Baggersee finden derzeit folgende Nutzungen statt: Kiesgewinnung, Angeln und Baden.

Kiesgewinnung

Die Kiesgewinnung erfolgt mittels Schwimmgreifer einschließlich Übergabegerät und Gurtförderer, die schwimmend auf Pontons montiert sind. Der Abbau schreitet von Norden nach Süden fort und befindet sich aktuell im südlichen Bereich des Baggersees.

Am Ostufer befinden sich Freilagerflächen für die gewonnenen Körnungen und das Betriebsgelände mit den Kiesaufbereitungsanlagen. Entlang des Südufers sind Abraumhalden (Randwälle) zwischengelagert.

Auf dem Betriebsgelände sind Radlader und LKW als bewegliches Gerät im Einsatz. Die Wartung erfolgt ebenfalls auf dem Betriebsgelände (firmeneigene Kfz-Werkstatt im SO des Werksgebietes).

Am Ostufer erfolgt auch die Entnahme und Wiedereinleitung von Kieswaschwasser. Das Rücklaufwasser wird über Absetz- und Klärbecken nachbehandelt und dem Baggersee zugeleitet. Eine entsprechende wasserrechtliche Genehmigung liegt vor.

Badenutzung

Das Nordufer des Sees wird als Freibad genutzt (Liegewiese, Spielmöglichkeit, WC-Anlage, Umkleidekabinen, Kiosk, Parkplatz). Träger dieser Nutzung ist die Stadt Lahr. Die für den Badebetrieb notwendigen Ver- und Entsorgungseinrichtungen sind vorhanden.

Es suchen an wenigen Tagen bis über 1.000 Besucher den Badesee auf. Auch der südliche Bereich des Baggersees (abgeräumte Fläche) wird, trotz Verbotshinweisen / Einzäunung, sporadisch von Badenden, Lagernden oder Hundespazierern genutzt.

Angelnutzung

Der Baggersee wird seit Bestehen vom Angelsportverein Kippenheimweiler e.V. als Angelgewässer genutzt.

Zur Bestandserhaltung finden Besatzmaßnahmen statt.

Das Angeln findet überwiegend am Westufer statt (Unterwald).

4 Morphometrie des Baggersees

4.1 Einführung

Natürliche und künstliche Seen können bei gleicher externer Belastung aufgrund ihrer morphometrischen Charakteristika sehr unterschiedliche Eutrophierungserscheinungen aufweisen.

Obwohl für künstlich entstandene Seen ein statistisch gesicherter Zusammenhang bisher nicht erbracht ist, geben die das Seebecken beschreibenden Kenngrößen dennoch Hinweise auf eine günstige Gestaltung des Gewässers im Hinblick auf die zu erwartende trophische Entwicklung.

Entsprechend den Ergebnissen von MIETZ & VIETINGHOFF (1994) wird die Neigung zur Algenentwicklung durch folgende Faktoren gemindert:

- große Gewässertiefe
- stabile Schichtung im Sommer
- ein in Relation zum Epilimnion großes Hypolimnion, das auch am Ende der Sommerstagnation noch aerob ist
- Steilufigkeit mit geringem Anteil an Gewässerboden, der mit dem Epilimnion in Kontakt steht
- geringe Uferentwicklung (buchtenarm, keine Inseln, keine unterseeischen Geländerücken, ebenes Seebodenrelief)

Die für die Wasserbeschaffenheit günstigen Gestaltungsmerkmale stehen oftmals in Widerspruch mit den ökologischen Zielsetzungen und der Forderung nach amphibischen Lebensräumen (Flachwasserbereiche, Verlandungsgürtel, buchtenreiche Uferlinie etc.). Dieser Konflikt muss für jeden See individuell abgewogen werden.

Eutrophe und hypertrophe Seen weisen vor allem wegen der starken Sedimentzehrung oftmals Sauerstoffdefizite insbesondere am Ende der Stagnationsphase auf und werden bei weiterer Zufuhr von Nährstoffen zu Problemseen.

Untersuchungen an Baggerseen der Oberrheinebene zeigen, dass trotz nachweislich geringer Nährstoffbelastung und günstiger Wasserbeschaffenheit (→ positives Gütebild, oligotroph bis mesotroph) in vielen Baggerseen während der Sommerstagnation im Hypolimnion Sauerstoffdefizite festgestellt werden. Es wird daher angenommen, dass u.a. wegen des vergleichsweise ungünstigen Oberflächen- /Tiefenverhältnisses der Sauerstoffeintrag aufgrund schlechter Durchmischungsmöglichkeiten behindert wird (morphologisch bedingte Meromixis). Das Oberflächen- /Tiefenverhältnis sollte daher so beschaffen sein, dass bei gegebener Windexposition während der Zirkulationsphase eine großräumige Umwälzung des Wasserkörpers erfolgt. Dadurch wird eine Regeneration des Sauerstoffhaushalts vor allem im Hypolimnion gewährleistet und meromiktische Verhältnisse vermieden.

4.2 Beschreibung und Bewertung

Zur Beschreibung der morphometrischen und topografischen Parameter wird das Formular des Ortenaukreises verwendet:

Tabelle 1: Morphometrie/Topografie der Kiesgrubenerweiterung Kippenheimweiler

Parameter	Soll-Zustand nach Entscheidung 2016	mit Süderweiterung	Zielwert LRA	Definition
Konzessionsfläche (ha)	27,23	+6,75 = 33,98		Das Betriebsgelände, in welchem die Abbaugrenzen festgelegt sind und auf welches sich der Eingriff durch den Kiesabbau beschränkt („brutto-Fläche“).
Abbaufläche (ha)	26,62	32,95		Fläche, die durch die Abbaugrenzen eingeschlossen wird („netto-Fläche“).
Wasserfläche A (ha)	26,62	32,83		Fläche des Sees
Wasservolumen V (m ³)	6,7 Mio.	8,5 Mio.		Gesamtwasservolumen des Sees bei Mittelwasser
Seeumfang U (m)	2.400 m	2.762 m		Umfang des Sees
max. Seetiefe Z max (m)	60 m	60 m		Größte Tiefe, die durch Lotung ermittelt wird.
mittlere Seetiefe Z mittl. = V/A (m)	25,2	25,9	> 16	Die mittlere Tiefe errechnet sich aus dem Verhältnis von Volumen zu Seefläche. Sie dient u.a. zur Beurteilung der trophischen Situation.
max. Seelänge L max (m)	950	1.050		Maximale Längsausdehnung des Sees über freie Wasserfläche
eff. Seelänge L eff (m)	950	1.050		Maximale Längsausdehnung des Sees auch über Landvorsprünge und Inseln hinweg
max. Seebreite B max (m)	365	410		Maximale Ausdehnung des Sees senkrecht zur max. Länge über freier Wasserfläche
max. Innenkreisdurchmesser dK (m)	350	345		Maximaler Innenkreisdurchmesser, dessen Kreisfläche über freier Wasserfläche liegt. Er wird zur Berechnung der Längsstreckung und der Zentrumsge- staltung benötigt.

Parameter	Soll-Zustand nach Entscheidung 2016	mit Süderweiterung	Zielwert LRA	Definition
MW - Wasserspiegellage (m + NN)	157,50	157,50		Mittelwasserstand des Sees, der sich durch die Freilegung des Grundwassers einstellen wird.
Flachwasserfläche (ha)	1,18 (nur Erweiterung)	0,92 (nur Erweiterung)	> 10 %	Fläche von ufernahen Unterwasserböschungen mit einer Neigung von 1 zu 10 oder flacher bis in eine Wassertiefe von 4 m.
Flachwasseruferlänge (m)	566 (nur Erweiterung)	493 (nur Erweiterung)	> 20 %	Uferlänge, an der sich Flachwasserzonen befinden
Volumen Flachwasser V_{FV} (m ³)	11.800 (nur Erweiterung)	9.200 (nur Erweiterung)		Wasservolumen über Flachwasserfläche bis zum Mittelwasserstand
Ausgleichsmaßnahmen/Auflagen (m ²)	26.000* (nur Erweiterung)	31.000* (nur Erweiterung)		Fläche der Ausgleichsmaßnahmen, die in der Entscheidung festgesetzt wurden
ges. Abbauvolumen (m ³)	1,3 Mio. (nur Erweiterung)	1,765 Mio. (nur Erweiterung)		Das Abbauvolumen, das durch die Festlegung der Abbaugrenze und der Abbautiefe abgebaut werden soll.
Überbaggerungen (m ³)	0	0	0	Das Abbauvolumen, das über die festgesetzten Abbaugrenzen hinaus gefördert wurde.
Restvolumen (m ³)	0,2 Mio.	0,56 Mio.		Das Abbauvolumen, das sich nach aktueller Erkenntnis noch im See befindet und abbaubar ist.
durchschn. Jahresförderrate (m ³)	150.000	135.000		Das Fördervolumen, das durchschnittlich in einem Jahr abgebaut wird.
verbl. Abbaudauer (Jahre)	1	4		Der Zeitraum, in dem das Restvolumen mit der durchschnittlichen Jahresförderrate abgebaut ist.
Kompaktheit $K = (4 \cdot A) / (\pi \cdot L_{max} \cdot B_{max})$	0,98	0,97		Die Kompaktheit gibt das Verhältnis der Seefläche zu einer Rechteckfläche, welche die gleiche Länge wie der See besitzt und deren Breite der maximalen Seebreite entspricht, wieder. Sie zeigt, wie der See in seine unmittelbare Umgebung eingebettet ist.

Parameter	Soll-Zustand nach Entscheidung 2016	mit Süderweiterung	Zielwert LRA	Definition
Zentrumsgestaltung $ZG = dK \cdot 4 \cdot L_{max} / (4 \cdot A)$	1,25	1,10		Als Zentrum eines Sees wird der Bereich bezeichnet, der durch den größten in ihr eingebetteten Kreis bestimmt wird. Dieses Zentrum wird als stabilisierter Bereich angesehen. Eine hohe Zentrumsausprägung liegt vor, wenn der Wert über 1 liegt.
Uferentwicklungskoeffizient $Rk = U / (4 \cdot \pi \cdot A)^{0,5}$	1,31	1,36		Der Uferentwicklungskoeffizient gibt das Verhältnis von Seeumfang zum Umfang eines flächengleichen Kreises wieder. Er zeigt, ob der See buchtenreich (hoher Wert) oder buchtenarm (niedriger Wert) ist. Bei einem kreisrunden See liegt der Wert bei 1.
Längsstreckung $a = L_{max} / dK$	2,71	3,04		Die Längsstreckung gibt Auskunft darüber, ob ein See rundlich (niedriger Wert) oder langgestreckt (hoher Wert) ist. Ein kreisrunder See hat einen Wert von 1.
Volumenentwicklung $Ve = 3 \cdot Z_{mittl.} / Z_{max}$	1,26	1,30		Die Volumenentwicklung beschreibt annähernd die mittlere Seebeckenform. Diese gleicht einem Kreiskegel bei $Ve = 1$, einer Halbkugel bei $Ve = 2$ und einem Kreiszylinder bei $Ve = 3$. Nach Berger (1971) gibt die Volumenentwicklung auch Auskunft über die horizontalen Austauschvorgänge im Wasserkörper und ihre Wirkungen auf das Tiefenwasser. Je kleiner der Wert, desto bedeutender die horizontalen Austauschvorgänge.
Seebeckenform $S = (Z_{max} / Z_{mittl.}) - 1$	1,38	1,32		Die Seebeckenform zeigt an, ob ein See parabolisch (Wert = 1) oder konisch (Wert = 2) geformt ist..

* = alle Uferflächen ohne Tiefenwasserzone > 4 m

Bewertung:

Seefläche

Mit einer genehmigten Seefläche von derzeit 26,62 ha gehört der Waldmattsee zu den überdurchschnittlich großen Baggerseen in der Oberrheinebene. Die LFU (2001) gibt für 337 untersuchte Baggerseen der Oberrheinebene eine mittlere Größe von 11,7 ha an.

Seetiefe

Mit einer maximalen genehmigten Seetiefe von 60 m handelt es sich um einen sehr tiefen See. Er wird ca. dreimal so tief wie der Durchschnitt aller von der LFU (2001) untersuchten Baggerseen ($\varnothing = 18,6$ m).

Die aktuell mit $> 42,5$ m tiefsten Bereiche (< 115 m üNN) umfassen derzeit 7 ha und liegen zentral innerhalb des Waldmattsees. Die maximal mögliche Tiefe von 60 m ist weitgehend erreicht. Gegenüber 2011 haben sich die Tiefenwasserbereich aber deutlich vergrößert (2008: 1,4 ha $< 112,5$ m üNN).

Oberhalb von 115 m üNN (= 42,5 m Wassertiefe) steigen die Unterwasserböschungen steil an (Neigung ca. 1:2). Ebenere Bereiche sind dann erst wieder in Ufernähe ausgebildet, v.a. im Seennorden (Badebereich bei ca. 157,5 m üNN).

Oberflächen- Tiefenverhältnisse

Im tiefen Waldmattsee ergibt sich ein rel. ungünstiges Oberflächen-Tiefen-Verhältnis, welches deutlich höher ist als der Durchschnitt der Baggerseen in der Oberrheinebene. Der Waldmattsee ist daher bezüglich seiner Morphometrie meromixisgefährdet.

Flachwasserbereiche

Die Uferentwicklung ist mit dem Wert 1,31 gegenüber natürlichen Seen sehr niedrig, aber für vom Menschen geschaffene Baggerseen typisch. Der Faktor belegt, dass die Uferlinie buchtenarm bzw. nur leicht geschwungen ist.

Wie bereits erwähnt, stellen ausgedehnte Flachwasserbereiche durch häufige Umwälzungen im Epilimnion die aus zersetzender Biomasse freiwerdenden Nährstoffe unmittelbar der erneuten Bioproduktion in der lichtdurchfluteten, oberen Wasserschicht zur Verfügung. Hohe Flächenanteile an aktivem, dem Epilimnion und der trophogenen Zone zuzuordnende Seeboden können daher bei starkem Bewuchs ein gewisses Eutrophierungspotenzial darstellen, während der Vegetationsperiode aber auch Nährstoffe festlegen.

Um den gesamten Baggersee wurde beim Abbau ein mehrere Meter breiter Flachwasserbereich aus kiesig, sandigem Material belassen. Diese Flachwasserzonen sind derzeit noch überwiegend vegetationslos und stellen kein Eutrophierungspotenzial dar. Selbst bei stärkerem Bewuchs und geschlossenem Schilfsaum ist die Flä-

chenausdehnung zu gering, als dass von den Flachwasserbereichen ein erhöhtes Eutrophierungspotenzial ausgehen könnte.

Seebeckenform:

Die bestehende Seeoberfläche ist elliptisch, mit den schmaleren Seiten in Nord-Süd-Ausrichtung, d.h. überwiegend in Richtung der Grundwasserfließ- und der vorherrschenden Windrichtung. Dies bringt insbesondere günstige Voraussetzungen für eine windinduzierte Durchmischung des Wasserkörpers.

Der Baggersee ist sehr tief, die Ufer überwiegend steil ausgebildet. Nach den morphometrisch relevanten Parametern des Ortenaukreises handelt es sich um ein Gewässer großer Kompaktheit und Zentrumsausprägung, d.h. der See kommt einem kreisrunden Stillgewässer ziemlich nahe.

Das Becken nimmt rechnerisch eine Kreiskegel- bis Halbkugelform (parabolisch) ein.

Fazit:

Die Tiefe des Waldmattsees entspricht derjenigen von flächenmäßig weitaus größeren Baggerseen. Der Waldmattsee weist daher ein ungünstiges Oberflächen- /Tiefenverhältnis auf. Es sind grundsätzlich die Voraussetzungen für meromiktische Verhältnisse gegeben. Mit der Nord-Süd-Ausrichtung des Baggersees werden eine windinduzierte Durchmischung des Wasserkörpers aber begünstigt.

Die Uferentwicklung ist durch die vollständige Ausbaggerung sehr gering, für künstlich angelegte Gewässer aber typisch und für die limnologischen Eigenschaften des Sees als überwiegend günstig zu bewerten (Begünstigung ausreichender Durchmischung, hoher Anteil des Hypolimnions am Wasserkörper).

Auf der Grundlage der morphometrischen Parameter ist eine günstige Ausgangssituation für eine positive trophische Entwicklung des Gewässers gegeben, solange sich keine meromiktischen Verhältnisse einstellen.

5 Ergebnisse der vormaligen chemisch-physikalischen Gewässeruntersuchungen

Ergebnisse UVP 2011:

„Die aufgenommenen Tiefenprofile zeigen eindeutig, dass der Baggersee trotz seines ungünstigen Oberflächen-/Tiefenverhältnisses regelmäßig durchmischt. Das Gewässer ist bis zum Seeboden gut mit Sauerstoff versorgt. Es gibt keine Hinweise auf eine morphometrisch oder halin bedingte Meromixis. Die vollständige Durchmischung ist Grundlage für die gute Sauerstoffversorgung des Gewässers und den guten Gewässergütezustand.

Der Vergleich von Grundwasser- und Seenwasserproben zeigen, dass der Baggersee gegenüber dem Grundwasseraquifer gut angebunden ist.

Die Ergebnisse der chemischen Wasseranalysen belegen, dass bezüglich der eutrophierungsrelevanten Parameter noch von einem eher oligotrophen Gütezustand ausgegangen werden kann. Der niedrige Startphosphor zu Beginn der Vegetationsperiode und die daraus erwachsende Chlorophyllkonzentration zeigen ein nur geringes Biomassewachstum an. Eine Belastungssituation ist nicht erkennbar. Bis heute kann keine erhebliche Nährstoffanreicherung im Sediment festgestellt werden...

Die Abschätzung von Nährstoffeinträgen durch Grundwasserzufluss, bestehende Nutzungen bzw. sonstiger externer Belastungsquellen hat ergeben, dass der Waldmattsee durch sein Umfeld aktuell nur in geringem Maße belastet wird. Er ist nicht an andere Oberflächengewässer angeschlossen.

Nach ... theoretischen Überlegungen der UVP 1996 stellt das oberstromige Grundwasser die hauptsächliche Eutrophierungsquelle für den Baggersee dar, welcher gut an den Aquifer angebunden ist. Es wird die Hälfte der tolerierbaren Phosphor-Konzentration erreicht. Allerdings wurde im zulaufenden Grundwasser trotz der stattfindenden intensiven ackerbaulichen Nutzung noch kein Phosphor festgestellt (Messungen im März/September).

Alle anderen Eintrittspfade spielen wohl eine untergeordnete Rolle und erreichen zusammengenommen ca. knapp die Hälfte des tolerierbaren Wertes.

Große und tiefe Seen sind weniger eutrophierungsanfällig als Kleinseen. Die Ausgangsbedingungen für einen erwünschten, langsamen Sukzessionsverlauf sind günstig. Dies betrifft das zu erwartende Zirkulationsverhalten der Gewässer und die zu erwartenden geringen Nährstoffbelastungen in den Seen. Eutrophierungsscheinungen sind erst nach Abbauende zu erwarten.

Die grundwasserseitigen Voraussetzungen zur Erstellung eines Baggersees nach Leitfaden (LfU 2004) bezüglich aller Parameter werden eingehalten, u.a. Zielvorgaben für Phosphor- und Sulfatkonzentrationen oberstromig des Nassabbaus werden unterschritten und ein jährliches Durchmischen des Wasserkörpers im geplanten Baggerseen bleibt gewährleistet.

Eine Erweiterung des Waldmattsees in die Fläche würde das ungünstige Oberflächen- /Tiefenverhältnis verbessern, außerdem wird die Windangriffsfläche vergrößert“.

Die Erweiterung des Baggersees wurde seinerzeit mit Hinblick auf die Gewässergüte als nicht kritisch bewertet.

6 Kriterien für die Zustandsbewertung von Baggerseen

Tabelle 2: Kriterien für die Zustandsbewertung natürlicher Seen, aus LFU (2004)

Trophiestufe	oligotroph nährstoffarm, gering produktiv	mesotroph mäßig nährstoffreich, mäßig produktiv	eutroph nährstoffreich, hoch produktiv	polytroph extrem nährstoffreich, stark produktiv
Parameter				
Sichttiefe im Sommer	> 5 m	> 2 m	< 2 m	< 1 m
Gesamt-Phosphor (µg/l) im Frühjahr	< 15	15-45	45-150	> 150
Chlorophyll a (µg/l) im Sommer	< 4	4-12	12-35	> 35

Die Zustandsbewertung für natürliche Seen (siehe Tabelle 2) beruht auf der Einstufung des Trophiepotenzials (Gesamtphosphor im Frühjahr), der biologischen Produktivität (Chlorophyll a im Sommer) und der Sauerstoffverhältnisse (Sauerstoffdefizit im Sommer). Zur schnellen Übersichtserhebung an Baggerseen wird von der LfU ein Verfahren angewendet, das zwei Untersuchungen im Jahr vorsieht (LFU 2004):

- Zirkulationsphase im Frühjahr: Erfassung des Nährstoffpotenzials.
- Stagnationsphase im Sommer: Erfassung der Biomasse und der Sauerstoffverhältnisse.

Die Einstufungen in Trophiestufen scheinen für Baggerseen nicht immer geeignet zu sein. Insbesondere kommt es bei noch in Auskiesung befindlichen Gewässern durch abbaubedingte Trübungen zu veränderten lichtklimatischen Verhältnissen, die sich auf die Produktivität der Algenbiomasse (Chlorophyll) und auf die Sichttiefe auswirken. Bei Baggerseen, in denen die Baggertätigkeit eingestellt ist, treten i. d. R. keine derartigen Erscheinungen auf.

Baggerseen sind oft einem sauerstoffarmen Grundwasserzuströmung ausgesetzt. Dies kann je nach Grundwasserbeschaffenheit zu Nährstoffhöhungen und/oder, wie besonders in der Oberrheinebene, zu einer markanten Zunahme sauerstoffarmen Wassers im Baggersee führen. Die größtenteils nährstoffarmen und geringe Biomassen aufweisenden Baggerseen sind auch deswegen nicht selten durch schlechte Sauerstoffverhältnisse charakterisiert. Gerade im Hinblick auf eine Bewertung führt diese Entkopplung zwischen Nährstoffhaushalt und Sauerstoffhaushalt zu weiteren Klassifikationsschwierigkeiten (LFU 2004).

Aus den aufgeführten Kenngrößen wurde für die Bewertung der Baggerseen in Baden-Württemberg ein dreistufiges (Schnell-) Bewertungssystem abgeleitet. Zusätzlich wird die Mächtigkeit der sauerstoffarmen Wasserschicht berücksichtigt (LFU 2004, siehe Tabelle 3).

Tabelle 3: Kriterien für die Zustandsbewertung von Baggerseen in Baden-Württemberg

Eutrophierungspotenzial		Biologische Produktion		Sauerstoffverhältnisse	
Frühjahr / Zirkulationsphase		Sommer / Stagnationsphase		Sommer / Stagnationsphase	
Nährstoffkonzentration gemessen als Gesamtphosphor		Algen-Biomasse gemessen als Chlorophyll a		Mächtigkeit der sauerstoffarmen (< 2 mg/l) Wasserschicht über dem Seeboden im Verhältnis zur Gesamttiefe	
0-15 µg/l	gering	0-4 µg/l	gering	0-10 %	günstig
15-45 µg/l	mäßig	4-12 µg/l	mäßig	10-30 %	akzeptabel
> 45 µg/l	hoch	> 12 µg/l	hoch	> 30 %	ungünstig

7 Ergebnisse der chemisch-physikalischen Gewässeruntersuchungen

7.1 Durchgeführte Untersuchungen 2009-2021

Die in der folgenden Tabelle dargestellten Untersuchungen wurden seit der letzten UVP durchgeführt:

Tabelle 4: Überblick über die ausgewerteten Gewässeruntersuchungen

Untersuchung	2014		2016		2018		2020/21	
	Zirkulation 13.03.14	Stagnation 10.09.14	Zirkulation 17.03.16	Stagnation 07.09.16	Zirkulation 16.03.18	Stagnation 17.08.18	Stagnation 10.09.20 21.10.20	Zirkulation 19.03.21
Tiefenprofil	X	X	X	X	X	X	X	X
Phosphat	X	X	X	X	X		X	X
Chlorophyll		X		X			X	
Ammonium		X	X	X		X	X	X

Untersuchung	2014		2016		2018		2020/21	
	Zirkulation 13.03.14	Stagnation 10.09.14	Zirkulation 17.03.16	Stagnation 07.09.16	Zirkulation 16.03.18	Stagnation 17.08.18	Stagnation 10.09.20 21.10.20	Zirkulation 19.03.21
H ₂ S		X		X		X	X	X
Mischprobe Wassersäule (Erweiterte Chemie)			X					X
Wasserprobe Epilimnion		X		X			X	
Wasserprobe Hypolimnion		X		X			X	
Wasserprobe über Grund		X		X			X	
Sediment				X				
Grundwasser Analytik	X	X	X	X	X	X	X	X

Untersuchung	2010		2012	
	Zirkulation 15.03.10	Stagnation 26.08.10	Zirkulation 21.03.12	Stagnation 27.09.12
Tiefenprofil	X	X	X	X
Phosphat	X	X	X	
Chlorophyll		X		X
Ammonium	X	X		X
H ₂ S				
Mischprobe Wassersäule (Erweiterte Chemie)	X			
Wasserprobe Epilimnion		X		
Wasserprobe Hypolimnion		X		
Wasserprobe über Grund		X		
Sediment		X		
Grundwasser Analytik	X	X	X	X

Grundwassermessstellen sind:

Grundwassermessstellen:

- GWM Nr. 1, Oberstrom = „Flachpegel“, südlich des Baggersees, 160,01 m üNN, Tiefe 22,40 m; R 3410988 / H 5353463.
- GWM Nr. 2 neu (BK2/04), Unterstrom = „Tiefpegel“, nördlich des Baggersees, Beprobung seit 2004, 159,83 m üNN, Tiefe 55 m; R 3410799 / H 53544356

Probennahmestelle Seewasser:

- jeweils im zentralen Seebereich (z.B. R 3410735 / H 5354020), möglichst über der tiefsten Seestelle, in mind. 50 m Entfernung vom Schwimmbagger oder bei ruhendem Baggerbetrieb. Störungen durch die Baggertätigkeit wurden dadurch minimiert.

7.2 Tiefenprofile: Schichtungsverteilung, Sauerstoffhaushalt und Ionenverteilung

Soweit nicht anders angegeben ähneln die Ergebnisse im betrachteten Zeitraum 2009-2021 den Vorgängerergebnissen aus der letzten UVP (Betrachtungszeitraum 1996-2008).

7.2.1 Temperaturverteilung

Die oberflächennahen Schichten sind über den Sommer bis in eine Tiefe von etwa 2-10 m (August / September) auf Temperaturen von meist¹ 20-21,6°C erwärmt (Epilimnion). Darunter folgt die Sprungschicht, die Ende September 2012 nicht mehr deutlich ausgeprägt war. In diesem nur wenige Meter mächtigen Metalimnion fällt die Wassertemperatur auf die Temperatur über Grund ab. Darunter beginnt das Hypolimnion, das durch gleichbleibende Temperaturen bis zum Grund des Baggersees gekennzeichnet ist (Temperatur 12-16°C).

Dieses Schichtungsverhalten (Epi-/Meta-/Hypolimnion) kennzeichnet die sog. „Sommerstagnation“ des Sees. Der Temperatur- bzw. Dichtegradient zwischen Oberflächen- und Tiefenwasser ist sehr stark ausgeprägt. Dem mächtigeren hypolimnischen Wasserkörper steht ein geringmächtiges Epilimnion entgegen. Untersu-

¹ Am 27.09.12 (später Messtermin) war die Sprungschicht schon in Auflösung: Oberflächentemperatur nur noch 16 °C)

chungen der LfU (1997) haben gezeigt, dass durch die Kiesentnahme die Umwälzung der Wasserschichten nur im unmittelbaren Einflussbereich des Schwimmgreifens beeinflusst wird.

Die Frühjahrstemperaturen im durchmischten See betragen, je nach vorangegangener Witterung, 6-8 °C (Mitte / Ende März). Der Baggersee durchmischt somit an seiner tiefsten Stelle vollständig.

7.2.2 Sauerstoffverteilung

Das Sauerstoffprofil zeigt i.d.R. hohe Sauerstoffsättigungswerte von

- 90-100 % während der Durchmischungsphase und von
- > 70 % während der Stagnationsphasen, auch über Grund.

Die Sauerstoffverhältnisse im Baggersee sind daher noch als günstig zu beurteilen.

Im Betrachtungszeitraum 1996-2008 ergaben sich während der Stagnationsphase noch regelmäßig Sauerstoffsättigungen von > 85 % über Grund. Dieser Wert wird in der Nachfolgezeit meist nicht mehr erreicht. Dies könnte auf einen sukzessiven Rückgang der Sauerstoffkonzentrationen im sommerlichen Tiefenwasser hinweisen. 2014 sank der Wert sogar auf 57 % ab. Dieser Messwert beschränkte sich aber auf den letzten Meter über Grund. Der Messwert ist noch in keiner Weise bedenklich.

Die Ausbildung eines tiefgreifenden Sauerstoffgradienten beginnt erst, wenn durch Abbauprozesse im Tiefenwasser und Sediment Sauerstoff zunehmend verbraucht wird und wegen einer fehlenden Durchmischung nicht mehr von der Wasseroberfläche nachgeliefert wird. Dies ist am Waldmattsee ganzjährig nicht der Fall, sondern setzt wenn, dann erst mit zunehmender Seenalterung ein.

Das Sauerstoffprofil der Frühjahre belegt die vollständige Durchmischung des gesamten Wasserkörpers bis zum Gewässergrund. Die während der Sommer im Hypolimnion zum Biomasseabbau benötigte Sauerstoffmenge wird dabei im Winterhalbjahr vollständig regeneriert. Das Gewässer ist bis zum Seeboden gut mit Sauerstoff versorgt. Es gibt keine Anzeichen auf eine Meromixis.

Sauerstoffeinträge durch zufließendes Grundwasser in der Tiefe können ausgeschlossen werden, da der Grundwasseraquifer deutlich sauerstoffärmer ist. Demnach erhält der gesamte Wasserkörper den für die organischen Abbauprozesse notwendigen Sauerstoff durch Atmosphäreneintrag und seeinterne Verlagerung.

7.2.3 Leitfähigkeit

Die mittlere Leitfähigkeit im Baggersee liegt bei ca. 630 $\mu\text{S}/\text{cm}$ während der Durchmischungsphase über mehrere Jahre hinweg, das entspricht den Messwerten im benachbarten Baggersee Nonnenweiher. In den meisten Jahren lag die Leitfähigkeit bei 650-670 $\mu\text{S}/\text{cm}$, im Jahr 2018 nur bei 480 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Das oberstromige Grundwasser weist gleichzeitig höhere Werte von durchschnittlich 800 $\mu\text{S}/\text{cm}$ auf (mit hohen Schwankungen, 1996-2008: 940 $\mu\text{S}/\text{cm}$), die unterstromig auf ca. 650 $\mu\text{S}/\text{cm}$ abnehmen, sich also den Baggerseewerten angleichen, was auf eine gute Anbindung des Sees an den durchfließenden Grundwasserstrom schließen lässt.

Die Leitfähigkeit der Oberrheinischen Baggerseen unterliegt in Abhängigkeit von der topographischen Lage großen Schwankungen. Die Untersuchungen der LfU (1996) stellten bei den Baggerseen im Oberrheingraben Extremwerte zwischen 176 $\mu\text{S}/\text{cm}$ und 1099 $\mu\text{S}/\text{cm}$ fest. Die nördlich gelegenen Seen weisen relativ hohe Leitfähigkeiten (bis >1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$) auf, wogegen bei den südlichen Seen meist geringere Leitfähigkeiten (bis < 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$) festgestellt werden. Entsprechend seiner Lage entspricht der Waldmattsee diesem allgemeinen Bild.

Verunreinigungen mit anorganischen Salzen (Straße, Industrie, Gewerbe, Haushalt) liegen nicht vor.

Während der sommerlichen Stagnationsphase wurden im Epilimnion in den Jahren 2003-2014 an der Seenoberfläche um durchschnittlich 45-50 $\mu\text{S}/\text{cm}$ geringere Leitfähigkeitswerte (LF) erreicht, was v.a. durch Umsetzungsprozessen durch die Mikro- und Planktonorganismen im Seewasser bedingt ist: Leitfähigkeitsbestimmend ist vor allem das Hydrogencarbonat HCO_3 . Eine LF-Abnahme ist im Wesentlichen auf die Reduktion der HCO_3 -Konzentration durch die planktische Photosyntheseaktivität zurückzuführen.

Seit 2016 werden über Grund im Sommer die höheren LF-Werte gemessen: Leicht erhöhte Werte um durchschnittlich 35-40 $\mu\text{S}/\text{cm}$; korreliert möglicherweise mit der schlechteren Sauerstoffentwicklung im Tiefenbereich seit 2012.

[Mittelwerte Leitfähigkeiten Baggerseen Oberrhein: Frühjahr 557 $\mu\text{S}/\text{cm}$, Sommer Epilimnion 510 $\mu\text{S}/\text{cm}$, über Grund 595 $\mu\text{S}/\text{cm}$]. Damit liegt der Waldmattsee jeweils knapp über den Durchschnittswerten.

7.2.4 pH-Wert

Der Verlauf des pH-Wertes spiegelt die ebenfalls organismischen Aktivitäten im Epi- und Hypolimnion des Sommerhalbjahres wieder: Erhöhung durch Verbrauch von Hydrogencarbonat HCO_3 durch Planktonaktivität an der Wasseroberfläche und geringe Absenkung durch CO_2 -Freisetzung im Hypolimnion.

[Mittelwerte pH Baggerseen Oberrhein: Frühjahr 8,3, Sommer Epilimnion 8,1, über Grund 7,4]. Damit liegt der Waldmattsee jeweils im Bereich des Durchschnittswerts (Waldmattsee Zirkulation pH 7,9, Stagnation Epilimnion pH 8, über Grund pH 7,6). Eine pH-Absenkung durch mikrobiologische Aktivität über Grund im Sommer fällt mit ca. -0,4 geringer aus als im Baggerseedurchschnitt.

Das oberstromige Grundwasser weist niedrigere Werte von durchschnittlich pH 7,2 auf (Baggersee: ca. pH 8), die unterstromig auf ca. pH 7,5 ansteigen, sich also den Baggerseewerten angleichen, was wiederum auf eine gute Anbindung des Sees an den durchfließenden Grundwasserstrom schließen lässt.

7.2.5 Aquiferanbindung

Durch einen Vergleich der Wassertemperaturen, LF-, O_2 - und pH-Werte von Aquifer und Hypolimnion können Aussagen über die Anbindung des Baggersees an den umgebenden Grundwasserkörper und eine mögliche Beeinflussung des Schichtungsverhalten, aber auch des Stoff- und Sauerstoffhaushalts beantwortet werden.

Die folgende Tabelle zeigt Wasseranalysewerte aus Grundwasser (ober- und unterstromig) sowie Tiefenwasser aus dem Baggersee. Bei guter Anbindung des Baggersees an das umliegende Grundwasser sollten die Werte im unterstromigen Grundwasser gegenüber den oberstromigen an die Werte des Baggerseewassers angeglichen sein (etwa: Aufnahme von Sauerstoff aus dem See, Angleichung von Temperatur-, pH- und LF-Werten).

Weitere chemische Parameter:

Ein vom Grundwasser durchströmter Baggersee wirkt i.d.R. als Nährstofffalle, d.h. unterstromig werden geringere Stoffkonzentrationen nachgewiesen.

Tabelle 5: Analysewerte an den Grundwassermessstellen und am Baggerseegrund im Vergleich

Datum	Parameter	GW-Messstelle oberstrom	Baggersee Tiefenwasser	GW-Messstelle unterstrom
09.03.10	Temperatur in °C	11,4	5,6	11,2
	LF in µS/cm	825	653	590
	O ₂ in mg/L	0,4	11,8	1,7
	pH-Wert	7,04	8,3	7,4
26.08.10	Temperatur in °C	12,2	12,4	11,6
	LF in µS/cm	825	653	596
	O ₂ in mg/L	0,2	9,9	0
	pH-Wert	6,86	7,8	7,21
21.03.12	Temperatur in °C	11,5	6,1	11,2
	LF in µS/cm	943	655	664
	O ₂ in mg/L	0,2	11,7	1,7
	pH-Wert	6,95	8,17	7,31
27.09.12	Temperatur in °C	11,6	14,7	11,6
	LF in µS/cm	932	649	653
	O ₂ in mg/L	0,1	8,6	0,6
	pH-Wert	6,93	7,8	7,3
17.03.16	Temperatur in °C	13,3	8	11,1
	LF in µS/cm	723	660	664
	O ₂ in mg/L	0,3	11	2,1
	pH-Wert	6,94	8,1	7,38
07.09.16	Temperatur in °C	13,3	15,8	11,6
	LF in µS/cm	723	656	567
	O ₂ in mg/L	0,3	7,77	0,5
	pH-Wert	6,94	8,7	7,2
16.03.18	Temperatur in °C	9,6	6,1	8,1
	LF in µS/cm	822	480	671
	O ₂ in mg/L	0,6	17,6	0,5
	pH-Wert	7,6	8,3	7,8
19.03.21	Temperatur in °C	12,4	7,1	11,4
	LF in µS/cm	840	667	590
	O ₂ in mg/L	< 0,2	10,1	0,5
	pH-Wert	7	7,5	7,5

Der Baggersee ist an das umgebende Grundwasser angebunden. Nach dem aktuellen hydrogeologischen Gutachten (Funk 2021, s. Schutzgut Wasser/Hydrogeologie) wird eine rel. geringe Austauschrate von 122 l/s bzw. eine mittlere Aufenthaltszeit von Grundwasser von ca. 2 Jahren abgeschätzt.

Nach obiger Tabelle deuten am ehesten noch die pH-Werte auf eine gute Anbindung des Baggersees ans Grundwasser an: Unterstromig sind die Werte (nach mutmaßlichen Durchstrom des Baggersees) deutlich erhöht.

Unterstromig sind die Grundwassertemperaturen fast durchweg niedriger als im Oberstrom, auch im Sommer, wenn wärmeres Baggerseewasser einwirken könnte. Offenbar liegt die tiefere Temperatur am tieferen Pegel begründet (Ausbautiefe 55 m gegenüber 22,40 m oberstromig).

Ähnlich kann für die Leitfähigkeiten argumentiert werden: Häufig liegen die Messergebnisse im Unterstrom noch unter den Messwerten im Baggersee!

Die Sauerstoffmesswerte sind im Unterstrom (nach mutmaßlicher Baggerseepassage) meist (leicht) erhöht.

7.2.6 Sichttiefe und Chlorophyll

Die festgestellten Sichttiefen zu Stagnation liegen, unter großen Schwankungen, bei 2,6-8,5 m (meist 3 m) und damit ca. im Bereich des Mittelwertes, der von der LfU untersuchten Baggerseen (2,7 m, siehe LfU 2001).

Die Sichttiefe ist auch größtenteils abhängig vom Baggerbetrieb/Waschwassereintrag (Verteilung feiner Tonteilchen im See) und weniger von der (geringen, s.u.) Algenproduktion. Ein Wert von 3 m entspricht einem „mesotrophen“, günstigen Gewässerzustand. Für die Vergangenheit wurde der Zustand auch als „ungünstig“ angesehen (mittlere Sichttiefe aus 26 Messwerten 1,6 m, Bewertungszeitraum bis 2017²).

Die gemessenen Chlorophyllkonzentration liegen mit <1 bis 3,3 µg/l in einem niedrigen Bereich. Seit 2010 scheint die Tendenz fallend. Die gemessenen Konzentrationen deuten auf einen oligotrophen Gewässerzustand hin (geringe biologische Produktion).

Die Untersuchungen der LfU (2001) ergaben einen durchschnittlichen Gehalt von 12,1 µg/l in oberrheinischen Baggerseen. Stillgelegte Seen wiesen dabei mit durchschnittlich 14,3 µg/l eine höhere Konzentration auf als die in Auskiesung befindlichen Baggerseen mit durchschnittlich 6,3 µg/l.

² Überwachungsprotokoll/Datenblatt 2018 für den Waldmattsee, LRA OG, Amt für Wasserwirtschaft und Bodenschutz

7.3 Ergebnisse der chemischen Parameter

Durch die sommerliche thermische Schichtung wird der Wasserkörper in ein geringmächtiges Epilimnion und ein Hypolimnion getrennt. Dies führt zu zwei weitgehend unabhängigen Reaktionsräumen im Gewässer. Gegenüber dem einheitlichen durchmischten See im Frühjahr führt dies bei vielen chemischen Parametern zu Konzentrationsverschiebungen und zur Ausbildung von Gradienten zwischen Oberflächen- und Tiefenwasser in Abhängigkeit von pH- und Redoxzuständen.

Phosphor-, Stickstoff- und Schwefelverbindungen sowie Silizium, Eisen und Mangan sind Indikatoren für den Stoffhaushalt des Gewässers und werden im Folgenden näher betrachtet. Sie werden den konservativen Substanzen, die an den seeinternen Ab- und Umbauprozessen nicht beteiligt sind, gegenüber gestellt.

Soweit nicht anders angegeben ähneln die Ergebnisse im betrachteten Zeitraum 2009-2021 den Vorgängerergebnissen aus der letzten UVP (Betrachtungszeitraum 1996-2008).

7.3.1 Phosphorhaushalt

In bebaggerten Seen ist das Phosphat aufgrund seiner geringen Löslichkeit (Adsorption an mineralische Trübstoffe) der für die Algenentwicklung limitierende Wachstumsfaktor. Da während der Stagnationsphase im Sommer durch mikrobielle Abbauprozesse Phosphate freigesetzt werden und während der Wintermonate kein Einbau in Biomasse erfolgt, ist zu Beginn der Vegetationsperiode mit den höchsten Phosphatkonzentrationen zu rechnen. Nach KLAPPER (1992) ist dieser sogenannte „Startphosphor“ eine Schlüsselgröße für die Seenklassifikation: Im Frühjahr ist der Gehalt an freiem Phosphat ein wichtiger Indikator für die sich während der Vegetationsperiode entwickelnde Biomasse und daher geeignet für die Trophieeinstufung des Gewässers.

Bei den Frühjahrsbeprobungen 2010-2021 wurden $< 15 \mu\text{g/l}$ Gesamt-P gemessen, so dass insgesamt von einem geringen Eutrophierungspotenzial auszugehen ist (überwiegend oligotropher Gewässerzustand: $< 15 \mu\text{g/l}$ Gesamt-P). Ein Ausreißerwert bestand 2014 mit $70 \mu\text{g/l}$ Gesamt-P (= eutropher Zustand). (Mittelwert oberrheinische Baggerseen $23 \mu\text{g/l}$ Gesamt-P im Frühjahr, LFU 2001).

Das geringe P-Angebot im Waldmattsee korreliert mit der geringen Biomasseproduktion im Baggersee (geringe Chlorophyllkonzentrationen).

Eine P-Rücklösung aus dem Sediment findet bei den hohen Sauerstoffkonzentrationen über Grund nicht statt.

Vergleichbare Phosphat-P-Konzentrationen wurden im umliegenden Grundwasser und im sommerlichen Epilimnion festgestellt. Dies spricht für ein gewisses Eutrophierungspotenzial des Grundwassers auf den Baggersee (z.B. Einträge von Nährstoffen durch die Landwirtschaft).

7.3.2 Stickstoffhaushalt

Nach dem Phosphor kommt dem Stickstoff die wichtigste Rolle als Makronährelement für das Algenwachstum zu. Der Stickstoff wird während der Sommerstagnation für die Biomasseentwicklung benötigt und dem Wasser entzogen (vgl. Phosphor). Allerdings liegt in den meisten Fällen P als Minimumfaktor vor, so dass meist gelöstes N im Seewasser bleibt, das nicht in Biomasse inkorporiert wird.

Nach Funk (Hydrogeologisches Gutachten 2021, s. Schutzgut Wasser/Hydrogeologie) weisen die gemessenen Nitratkonzentrationen in den Grundwassermessstellen sowie im See unauffällige Werte bis maximal 13,8 mg/l auf. Insbesondere in der oberstromigen Grundwassermessstelle ist seit 2016 ein eindeutiger Trend zu höheren Konzentrationen zu beobachten. In den restlichen Messstellen sowie im See werden nur sehr geringe Konzentrationen gemessen, teilweise liegt die Nitratkonzentration unterhalb der Bestimmungsgrenze. In der letzten Seewasserprobe vom Frühjahr 2021 wurde im See mit ca. 8,5 mg/l eine deutlich höhere Konzentration als in den Jahren zuvor gemessen, die allerdings immer noch eine sehr unauffällige Konzentration darstellt.

Vergleichswerte:

- Mittelwerte Baggerseen Oberrhein: 6,4 mg NO₃/l (Frühjahr) bzw. 3,5 mg NO₃/l (Sommer).
- Nitratwerte im Grundwasser – Durchschnitt für den Ortenaukreis 10,2 mg NO₃/l (2018, www.grundwasserdatenbank.de).

Erhöhte Ammonium-Werte kommen aufgrund der ganzjährig guten Sauerstoffversorgung über die gesamte Wassersäule nicht vor. Sie liegen bei 0-0,06 mg N/l (Mittelwerte Baggerseen Oberrhein: 0,05 mg N/l (Frühjahr) bzw. 1 mg N/l (Sommer über Grund). Es wird kein Wert erreicht, der als Belastungsfaktor zu werten wäre: Erst Gehalte > 1,5 mg N/l im Tiefenwasserkörper gelten als Schwellenwerte, die eine Intensivierung des Untersuchungsprogramms erforderlich machen (LFU 2004).

Bei guter Sauerstoffversorgung und erhöhten Wassertemperaturen wird Ammonium durch Nitrifizierer über das Zwischenprodukt Nitrit zu Nitrat umgesetzt.

Im oberstromigen Grundwasser wurden Ammoniumwerte von durchschnittlich 0,073 mg N/l festgestellt, unterstromig ähneln die Werte dem Baggerseewasser.

Die Nitrat- und Ammoniumwerte in Baggersee und angrenzendem Grundwasser waren bislang als niedrig einzuschätzen. Seit 2016 wird ein Anstieg im oberstromigen Grundwasser verzeichnet (Verursacher Landwirtschaft?).

7.3.3 Silizium

Kieselsäure ist insbesondere für Kieselalgen, Goldalgen und verschiedene Makrophyten essentieller Nährstoff. Dieser Nährstoff wird während der Sommerstagnation vom Plankton aufgenommen. Zu Beginn der Sommerstagnation sind die Werte am höchsten. Die gemessenen Konzentrationen von 3-3,5 mg/l entsprechen den Erwartungen. Im Sommer gehen die Konzentrationen im Epilimnion produktionsbedingt (Algenbiomasse) auf 2,7-2,8 mg/l zurück.

7.3.4 Schwefelhaushalt

Der Schwefelhaushalt beeinflusst insbesondere dann den Nährstoffhaushalt eines Baggersees, wenn es aufgrund abfallender Redoxspannungen zur Desulfurikation kommt (v.a. über Grund) und das entstehende Sulfid unter Bildung von Eisensulfid (FeS) Phosphate aus deren Bindungsstellen verdrängt und freisetzt. Hohe Sulfatgehalte von etwa 60 mg/l bis über 100 mg SO₄/l können in Baggerseen bei reduzierenden Randbedingungen zur für Fische und Kleinlebewesen toxischen Schwefelwasserstoffgasbildung erheblich beitragen. Bei der Anlage von Baggerseen in diesen Regionen ist darauf zu achten, dass chemische reduzierenden Randbedingungen vermieden werden (LfU 2004). Sulfatkonzentrationen von > 100 mg/l im anströmenden Grundwasser sollen vermieden werden. In 6 Grundwasserproben (2010-2021) lag der Durchschnitt der Sulfatgehalte bei 107,7 mg/l, also knapp oberhalb der Empfehlungen.

Sauerstoffreiches Tiefenwasser schließt im Waldmattsee reduzierende Bedingungen aus. Die Ergebnisse der Sulfidbestimmung lagen erwartungsgemäß unterhalb der Nachweisgrenze. Die sehr hohen Sulfatkonzentrationen von 90-100 mg/l entsprechen den umliegenden Grundwasserwerten (75-125 mg/l) und sind geogen bedingt.

7.3.5 Eisen und Mangan

Eisen und Mangan gehören zu den reaktiven Substanzen, deren Verteilung vor allem durch den Redoxzustand des Tiefenwassers bestimmt wird. Unter reduktiven Verhältnissen kann über Grund ein drastischer Anstieg

beider Ionen beobachtet werden (bis in den mg-Bereich) bei gleichzeitiger Freisetzung von Phosphaten aus dem Sedimentpool.

Beide Ionen liegen im Waldmattsee in niedriger Konzentration vor (Eisen: 0-0,1 mg/l); Mangan: 0-0,03 mg/l).

Über Grund wird zeitweise ein leichter Anstieg festgestellt (Eisen im Sommer 2016 0,45 mg/l über Grund).

Die Freisetzung von Phosphaten aus dem Sedimentpool wird aber ausgeschlossen.

Im umliegenden Grundwasser liegen oberstromig hohe Mangankonzentrationen (i.d.R. 0,3-0,44 mg/l) und sehr hohe Eisenkonzentrationen (0,6-3 mg/l = > Grenzwert Trinkwasserverordnung 0,2 mg/l) vor.

7.3.6 DOC: Gelöste organische Substanz

Die Ergebnisse zeigen keine besonderen Auffälligkeiten. Die Werte für die oxidierbaren Verbindungen sind gering. Entsprechend des DOC-Gehalts liegen keine organischen Verunreinigungen durch gelöste organische Wasserinhaltsstoffe (Aminosäuren, organische Säuren, Kohlenhydrate etc.) vor.

Die gemessenen DOC-Werte von durchschnittlich 1,5 mg/l im Oberflächenwasser/Mischwasser entsprechen den natürlichen Bedingungen und sind geringer als die Mittelwerte von Baggerseen der Oberrheinebene (3,1 mg/l im Epilimnion, LFU 2001).

Über Grund konnten im Betrachtungszeitraum 2009-2021 keine erhöhten Werte beobachtet werden, die auf eine länger währende Belastung durch Zehrungs- und Mineralisierungsvorgänge hindeuten könnten.

7.3.7 Andere anorganische Salze (Kationen, Anionen)

Die Konzentrationen der untersuchten Salze sind nicht erhöht und korrelieren mit der Leitfähigkeit des Gewässers und der Lage in der südlichen Oberrheinebene. Sie sind überdies über die Untersuchungsjahre recht konstant (Hydrogencarbonat, Chlorid, Natrium, Kalium, Calcium, Magnesium). Die Konzentrationen für Natrium und Kalium liegen unter dem Schnitt für oberrheinische Baggerseen, für Calcium und Magnesium über dem Schnitt.

Die Chlorid-Konzentrationen bei 40-46 mg/l sind typisch für oberrheinische Baggerseen, im landesweiten Vergleich etwas erhöht, aber unbedenklich, sie sind geogen bedingt (umliegendes Grundwasser bis 50 mg/l).

7.4 Ergebnisse der Sedimentuntersuchungen

Makroskopische Sedimentuntersuchung 2016:

- Sedimentart: Feinschlamm
- Geruch: ohne
- Farbe: hellbraun, Deckschicht dunkel gesprenkelt.

Der Wassergehalt liegt niedrig und weist mit 2-3 % Glühverlust in der Trockensubstanz einen niedrigen organischen Anteil auf.

Die Stickstoff- und Phosphorkonzentrationen im Sediment fallen an den Probeterminen 2010 und 2016 höher aus als im Vorbetrachtungszeitraum 1996 – 2009):

- Stickstoff: 389-730 mg N/kg (vormals 0-245)
- Phosphor: 500-561 mg P/kg (vormals 11-464).

Die geringen Konzentrationen vor 2010 entsprachen dem geringen Alter des Baggersees. Sie wiesen auf eine niedrige Nährstoffakkumulation hin. Offenbar haben sich mittlerweile aufgrund steigender Schlammakkumulation am Grund (mineralisch) Nährstoffe angereichert (etwa durch Bindung an Tonteilchen).

Zur Veranschaulichung, welche P-Konzentrationen in Baggerseen nach Abbauende erreicht werden, können die von der LfU Karlsruhe gemessenen P-Belastungen in älteren Baggerseesedimenten herangezogen werden:

Tabelle 6: Phosphorbelastung im Sediment von älteren Baggerseen (LfU Karlsruhe 1994, zitiert aus BOOS & STROHM 1995)

Minimumwert	228 mg/kg TS
Mittelwert	574 mg/kg TS
Maximumwert	1063 mg/kg TS

In weiten Bereichen des Sees werden die geringmächtigen, organischen Ablagerungen während der Abbau-phase durch Sedimentation ständig mit mineralischem Material überdeckt. Das Phosphorbindevermögen dieser mineralischen Feinsedimente ist nur zu einem geringen Teil ausgeschöpft. Durch aktive Aufwirbelung neuer unbelasteter Feinsedimente in Folge des Baggerbetriebs werden Nährstoffe durch Adsorption dem Wasserkörper entzogen. Dieser Prozess steht in Konkurrenz mit der Aufnahme von Nährstoffen durch das Plankton und schränkt die photoautotrophe Produktion während der Auskiesungsphase ein.

Die Sediment-Wasser-Kontaktzone ist vollständig oxidiert. Fäulnisprozesse sind nicht feststellbar. Die Sedimentzehrung und das Nährstoffpotenzial des Sediments sind gering. Das Phosphorbindevermögen ist hoch.

7.5 Bewertung

Soweit nicht anders angegeben ähneln die Ergebnisse im betrachteten Zeitraum 2009-2021 den Vorgängerergebnissen aus der letzten UVP (Betrachtungszeitraum 1996-2008).

Ein Vergleich der Messwerte Seewasser 2010-2021 mit den in Kapitel 6, Tabellen 2 und 3, genannten Kriterien für die Zustandsbewertung von Baggerseen ergibt folgende Schlussfolgerungen:

7.5.1 Sichttiefe

Trophiestufe	oligotroph nährstoffarm, gering produktiv	mesotroph mäßig nährstoffreich, mäßig produktiv	eutroph nährstoffreich, hoch produktiv	polytroph extrem nährstoffreich, stark produktiv, kritischer Wert nach LFU (2004)
Sichttiefe <u>im Sommer</u>	> 5 m	> 2 m	< 2 m	< 1 m

Messwerte

	1996-2008	2009-2021
Sichttiefe in m	2,9	3

- **Sichttiefe im Sommer:** 2,6-8,5 m (meist 3 m)
entspricht insgesamt einem mesotrophen Zustand; zu berücksichtigen ist, dass es durch aktuelle Baggertätigkeit zu zusätzlichen Eintrübungen kommt, die nichts mit dem Eutrophierungszustand zu tun haben, eine eingeschränkte Sichttiefe also nicht allein auf der Algenproduktion beruht.

7.5.2 Chlorophyll

Trophiestufe	oligotroph nährstoffarm, gering produktiv	mesotroph mäßig nährstoffreich, mäßig produktiv	eutroph nährstoffreich, hoch produktiv	polytroph extrem nährstoffreich, stark produktiv, kritischer Wert nach LFU (2004)
Chlorophyll a ($\mu\text{g/l}$) im Sommer	< 4	4-12	12-25	> 25

Messwerte

	1996-2008	2009-2021
Chlorophyll a in $\mu\text{g/l}$	1,9	1,8

- **Chlorophyll a im Sommer:** < 1-3,3 $\mu\text{g/l}$ (durchschnittlich 1,8 $\mu\text{g/l}$)
entspricht einem oligotrophen Zustand = einer geringen biologischen Produktion.

7.5.3 Gesamtphosphor

Trophiestufe	oligotroph nährstoffarm, gering produktiv	mesotroph mäßig nährstoff- reich, mäßig produk- tiv	eutroph nährstoffreich, hoch pro- duktiv, <u>kritischer Wert</u> nach LFU (2004)	polytroph extrem nährstoff- reich, stark produk- tiv
Gesamt-Phosphor ($\mu\text{g/l}$) <u>im Frühjahr</u>	< 15	15-45	45-150	> 150

Messwerte

	1996-2008	2009-2021
Gesamt-P in $\mu\text{g/l}$	8	5-10

- **Gesamt-Phosphor im Frühjahr:** 5-10 (-70) $\mu\text{g/l}$
entspricht im überwiegenden Fall der Fälle einem oligotrophen (in Ausnahmen eutrophen) Zustand (1 Ausreißerwert, s. Kapitel 7.3.1 = einem geringen (bis mäßigen) Eutrophierungspotenzial.

7.5.4 Sauerstoff

Sauerstoffverhältnisse im Sommer	günstig	akzeptabel	ungünstig	kritischer Wert nach LFU (2004)
Mächtigkeit der sauerstoffarmen (< 2 mg/l) Wasserschicht über dem Seeboden im Verhältnis zur Gesamttiefe	0-10 %	10-30 %	> 30 %	> 50 %

Messwerte

	2018	2017
Mächtigkeit sauerstoffarm in %	0	0
Mächtigkeit sauerstoffarm in m	0	0

- **Mächtigkeit der sauerstoffarmen Schicht über dem Sediment:** 0 %

Eine sauerstoffarme Schicht über Grund war zu keiner Zeit ausgeprägt, die Sauerstoffverhältnisse sind daher als günstig einzustufen. Im Winterhalbjahr durchmischt der Waldmattsee vollständig.

7.5.5 Schwefelwasserstoff

Bei keiner Messung im Waldmattsee wurde zur Zeit der Stagnation im Tiefenwasser Schwefelwasserstoff festgestellt.

7.5.6 Ammonium

Einstufung	Schädliche Sauerstoffarmut über Grund, kritischer Wert nach LFU (2004)
NH ₄ -N (mg/l) Tiefenwasser im Sommer	> 1,5

Messwerte

	1996-2008	2009-2021
NH₄-N in mg/l	0,006-0,04	0-0,06

Die gemessenen Werte liegen seit jeher deutlich unterhalb des kritischen Werts.

7.5.7 Zirkulation

Eine Frühjahrs-Durchmischung des Seenkörpers im Waldmattsee wurde bis dato bei jeder Messung festgestellt.

7.5.8 Zusammenfassung

Tabelle 7 zeigt die Schwellenwerte für die Einstufung eines Baggersees als „kritisch belastetes“ Gewässer. Bei Überschreitung von > 1 Schwellenwert können zur Klärung der Ursachen zusätzliche Untersuchungen festgelegt werden (LFU 2004).

Tabelle 8 zeigt die bisher ermittelten Untersuchungsergebnisse für die relevanten Parameter in Stufen und farblich abgesetzt.

Tabelle 7: Kenngrößen für kritisch belastete Baggerseen (aus: LFU 2004)

Kenngröße	Kenngrößenwert	Kritischer Wert	Hinweise
Algenbiomasse (Ende Sommerstagnation)	Chlorophyll a	> 25 µg/l	
	Sichttiefe	< 1 m	außerhalb Baggerbetrieb, ohne Tontrübe
Nährstoffe (Zirkulationsphase)	Gesamt-Phosphor	> 45 µg/l	
Tiefenwasser (Ende Sommerstagnation)	Schwefelwasserstoff (H ₂ S)	> 1 mg/l	
	Ammonium (N-NH ₄)	> 1,5 mg/l	
	Anteil der sauerstoffarmen Schicht	> 50%	< 2 mg O ₂ /l
Vertikale Zirkulationsfähigkeit (Zirkulationsphase)	Tiefenprofil: Temperatur, Sauerstoff, elektr. Leitfähigkeit, pH-Wert	unvollständige Tiefendurchmischung (Meromixis)	
Fischsterben infolge Sauerstoffmangel			

Tabelle 8: Gesamtdarstellung der Einstufung der relevanten Parameter aus den Messungen

Parameter	Sichttiefe	Chlorophyll	Gesamt-P	Sauerstoff	Schwefelwasserstoff	Ammonium	Zirkulation
Waldmattsee 1996-2008	mesotroph	oligotroph	oligotroph	günstig	günstig	günstig	günstig
Waldmattsee 2009-2021	mesotroph	oligotroph	oligotroph	günstig	günstig	günstig	günstig

blau = oligotropher Zustand bzw. günstiger Sauerstoffhaushalt, **grün** = mesotropher Zustand bzw. akzeptabler Sauerstoffhaushalt, **gelb** = eutropher Zustand bzw. ungünstiger Sauerstoffhaushalt, **rot** = krit. Werte bez. Nährstoff- bzw. Sauerstoffhaushalt überschritten

Für den Waldmattsee ergibt sich ein aktuell günstiger Gütezustand. Lediglich die Sichttiefe ist leicht herabgesetzt, was aber auch in schwimmenden Tonteilchen aufgrund der Baggertätigkeit begründet liegt.

Fazit:

Die Ergebnisse der chemischen Wasseranalysen belegen, dass bezüglich der eutrophierungsrelevanten Parameter noch von einem überwiegend oligotrophen Gütezustand ausgegangen werden kann. Der niedrige Startphosphor zu Beginn der Vegetationsperiode und die daraus erwachsende Chlorophyllkonzentration lassen nur ein geringes Biomassewachstum zu. Eine Belastungssituation ist nicht erkennbar. Die Sauerstoffverhältnisse über Grund sind ebenfalls günstig.

Kenngößen für kritisch belastete Baggerseen nach LFU (2004), die einen zukünftig höheren Untersuchungsaufwand rechtfertigen, treten nicht auf. Die Kenngößen für Chlorophyll, Sichttiefe, Gesamt-Phosphor, Schwefelwasserstoff, Ammonium, den Anteil der sauerstoffarmen Schicht, Zirkulationsfähigkeit und Fischsterben bleiben unterschritten.

In der Bewertung 2009-2021 werden die selben Ergebnisse wie im vorangegangenen Beobachtungszeitraum 1996-2008 erreicht. Leichte Abweichungen ergeben sich bezüglich:

- **Sauerstoffprofil:** Im aktuellen Beobachtungszeitraum verringerte Sauerstoff- und erhöhte Leitfähigkeitswerte im Tiefenwasser (s. Kapitel 7.2.2 und 7.2.3). Die Messwerte sind aber noch in keiner Weise bedenklich.
- **Anbindung Seewasser zum Grundwasser:** 2008 wurde noch eine gute Anbindung des Seewasserkörpers an das Grundwasser postuliert. Diese Aussage wird 2021 relativiert: Eine Anbindung ist vorhanden,

die beobachteten Messwerte in Grund- und Seewasser legen aber keine „gute“ Anbindung nahe (rel. geringe Austauschrate, rel. hohe mittl. Aufenthaltsdauer) (s. Kapitel 7.2.5).

- **Phosphat im Grundwasser:** Gegenüber dem Beobachtungszeitraum 1996-2008 wurden im oberstromigen Grundwasser mehr Phosphat nachgewiesen. Dies spricht für ein gewisses Eutrophierungspotenzial des Grundwassers auf den Baggersee (z.B. Einträge von Nährstoffen durch die Landwirtschaft), s. Kapitel 7.3.1.

8 Gewässerökologische Bestandsaufnahme

Eine gewässerökologische Bestandsaufnahme wurde im Rahmen der UVP 1996 durchgeführt. Sie umfasste die Erfassung der Makrophyten, des Makrozoobenthos, des Planktons und der Fischfauna. Aufgrund der bislang günstigen Seewasserqualität bestand in der Zwischenzeit keine Veranlassung, diese Untersuchungen zu wiederholen.

Die detaillierten Ergebnisse werden an dieser Stelle nicht noch einmal aufgegriffen. Sie sind in der letzten UVP 2008 wiederholt dargestellt. Es wird auf das Ergebnis verwiesen (UVP 1996 / 2008):

„Die oligotrophen Nährstoffverhältnisse, wie sie die chemisch-physikalischen Untersuchungen widerspiegeln, werden am ehesten durch das Artenspektrum der Plankter repräsentiert. Alle anderen untersuchten Artengruppen weisen aufgrund des jungen Seenalters oder aufgrund andauernder Baggertätigkeit oder Fischbesatz ein unausgewogenes Artenspektrum, das keine sinnvollen Aussagen über den Gütezustand des Baggersees bzgl. seines Stoffhaushalts zulässt.“

9 Mögliche Nährstoffbelastungsquellen

Eine typische Eigenschaft von Baggerseen ist, dass sie nach Beendigung der Auskiesung sehr schnell „altern“. Während des Abbaus werden bestehende Belastungen relativ gut kompensiert. Bei Abbauende führen diese Belastungen jedoch im Zuge des natürlichen Alterungsprozess zu einer beschleunigten Sukzession von einem zunächst oligotrophen zu einem eutrophen Gewässerzustand, verbunden mit einer Anreicherung von Nährstoffen. Ein Endzustand dieser Entwicklung wird erst dann erreicht, wenn sich zwischen den externen Nährstoffeinträgen und den internen Stoffumsätzen im See Gleichgewichte eingestellt haben.

Neben der Morphometrie des Seebeckens und seiner Lage im Grundwasserströmungsfeld bestimmen in erster Linie der Zustand des Umfeldes die Startbedingungen des neu von Menschenhand geschaffenen Ökosystems. Die bestehenden Belastungen müssen deshalb abgeschätzt werden, um die voraussichtliche Geschwindigkeit

des “Alterungsprozesses” zu prognostizieren. Entscheidend für den Eutrophierungsprozess in Baggerseen ist die Verfügbarkeit von Nährstoffen.

9.1 Eintragspotenzial durch Grundwasserzufluss

BOOS & STROHM (1995) haben in einer Literaturstudie die möglichen Nährstoff- und Schadstoffeinträge in Baggerseen einschließlich der Belastungspfade untersucht. Ein wesentliches Ergebnis dieser Studie ist, dass die Gewässergüte sehr stark von der Menge und von der hydrochemischen Beschaffenheit des zuströmenden Grundwassers abhängt. Bereits leicht erhöhte Phosphor-Gehalte im Grundwasser können u.U. zu einem ganz erheblichen Nährstoffeintrag führen. Nährstoffeinträge durch Grundwasser übertreffen bei weitem die anderen eutrophierungsrelevanten Belastungspfade.

Die tatsächlichen Nährstoffgehalte des Grundwassers spielen oftmals nicht die entscheidende Rolle. Vielmehr sind es die im Übergangsbereich Aquifer-Baggersee stattfindenden Wechselwirkungen zwischen Seesediment und eintretendem Grundwasser, die sekundär zu erheblichen Nährstoffmobilisierungen führen können. Eine Quantifizierung der Nährstoffeinträge mittels einfacher Faustformeln ist daher nicht möglich.

Die Ergebnisse der chemisch-physikalischen Untersuchungen haben ergeben, dass der Waldmattsee gegenwärtig an den Grundwasseraquifer angebunden ist. Aufgrund dieser Vermutung ist derzeit prinzipiell von einem gewissen Eintrag an Nährstoffen aus dem oberstromigen Grundwasser und aufgrund der Sauerstoffarmut des zufließenden Grundwassers auch von einer gewissen Mobilisierung von Nährstoffen im Übergangsbereich Aquifer-Baggersee auszugehen.

Die Nährstofffrachten des zufließenden Grundwassers sind nach den aktuellen Messungen gegenüber dem Beobachtungszeitraum 1996-2008 angestiegen. Im unmittelbaren Einzugsgebiet des Baggersees wird intensive Landwirtschaft betrieben:

- Phosphat: 0,01-0,05 mg P/l (durchschnittlich 0,02 mg P/l)
[1996-2008: unter der Nachweisgrenze (<0,005 mg P/l)].

Quell- und Grundwasser aus anthropogen nicht beeinflussten Gebieten weisen meistens Phosphatgehalte unter 0,010 mg P/l auf (Amt für Umwelt und Energie Basel, www.aue.bs.ch). Die geogene Grundbelastung in der Oberrheinebene beträgt ebenfalls 0,010 mg P/l (BOOS & STROHM, 1995). Erhöhte Phosphatgehalte weisen auf eine Infiltration von Oberflächenwasser oder eine Verunreinigung durch Abwasser oder Dünger hin.

In Baggersee-einzugsgebieten mit niedrig belastetem Grundwasser (ges-P-Gehalt < 0,015 mg P/l) findet keine Beeinträchtigung des Baggersees statt (LfU 2004).

Im Beobachtungszeitraum 2009-2021 sind die Phosphatwerte mit durchschnittlich 0,02 mg P/l erhöht und liegen über der nach LfU (2004) empfohlenen Konzentration von < 0,015 mg P/l im Anstrom. Dieser Wert soll eingehalten werden, um eine schnellere Eutrophierung zu vermeiden.

- Nitrat: 2,6-17,8 mg NO₃/l (durchschnittlich 10,0 mg NO₃/l [1996-2008: 2,3-7,1 mg NO₃/l (durchschnittlich 4,7 mg NO₃/l)].

Die Nitratkonzentrationen im oberstromigen Grundwasser sind als durchschnittlich einzuschätzen (Durchschnitt Ortenaukreis: 12,5 mg NO₃/l, 2003-2007, www.grundwasserdatenbank.de). Stickstoff ist nach dem Phosphor der zweitwichtigste Nährstoff im Seenhaushalt. N-Überschüsse sind aber nicht eutrophierungsrelevant, solange ein Mangel an P herrscht, wie es für den Waldmattsee angenommen werden kann.

- Ammonium: 0-0,07 mg N/l (durchschnittlich 0,038 mg N/l [1996-2008: 0,05-0,1 mg N/l (durchschnittlich 0,075 mg N/l)].

Im Grundwasser kommt Ammonium als Teil des natürlichen Stickstoffkreislaufes in geringer Menge vor. Der Ammonium-Gehalt steigt jedoch stark an, wenn Abwässer oder Düngemittel ins Grundwasser gelangen. Die zulässige Höchstkonzentration liegt bei 0,5 mg NH₄/l Trinkwasser nach Trinkwasserverordnung. Der Messwert 0,038 mg N/l ist unauffällig und weist nicht auf Düngerbelastungen hin.

Alle anderen Eintrittspfade spielen wohl eine untergeordnete Rolle und erreichen zusammengenommen ca. knapp die Hälfte des tolerierbaren Wertes.

Fazit:

- Der Eintrag der eutrophierungsrelevanten Nährstoffen P und N durch Grundwasserzufluss bzw. Flächennutzungen im Einzugsgebiet des Baggersees muss anhand der vorliegenden Messwerte als potenziell eutrophierend eingeschätzt werden. Gegenüber dem alten Betrachtungszeitraum 1996-2008 sind die Konzentrationen im Grundwasser gestiegen. Eine Aquiferanbindung ist vorhanden.
- Mit der aktuellen Aquiferanbindung ist nach Beendigung des Abbaus mit Einstrom von sauerstofffreien Grundwasser mit einer gewissen Nährstoffmobilisierung im Übergangsbereich Aquifer-Seesediment zu rechnen.

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt kann aufgrund der hohen Redoxspannung, der aeroben Verhältnisse am Gewässergrund, der ständigen Überdeckung mit jungen Sedimenten durch den laufenden Betrieb und der mittleren Nährstoffkonzentrationen im Sediment keine nennenswerte Mobilisierung angenommen werden.

⇒ Das grundwasserbedingte Eutrophierungspotenzial anhand der vorliegenden Messdaten zum gegenwärtigen Zeitpunkt als mittel bis hoch einzuschätzen (2008 mit geringeren Nährstoffkonzentrationen im Grundwasser noch als „gering“ eingeschätzt).

Exkurs: In der UVP 1996 wurden mögliche P- und N-Frachten aus dem Einzugsgebiet in den Baggersee berechnet. Dabei wurde nicht der oberstromige Grundwassermesswert für P und N verwendet (nur je 1 Wert verfügbar), sondern in einem pessimistischen Ansatz Konzentrationen oberhalb der Nachweisgrenze (P: 0,05 mg/l) bzw. aus der Literatur verwendet (N: 120 mg/l in den obersten 5-10% der Wassersäule). Danach ergab sich bez. P eine Flächenbelastung durch den jährlichen Gesamteintrag von immerhin der Hälfte des tolerierbaren Wertes. Die Stickstoffbelastung überschritt den kritischen Wert um fast das Doppelte.

Daraus folgernd wurde das Eutrophierungspotenzial durch Grundwasserzufluss in der UVP 1996 als hoch bezeichnet.

9.2 Eintragspotenzial durch Badenutzung

Die Abschätzung der Auswirkungen durch Badende wird analog der vorangegangenen UVPs durchgeführt. Es wird aber die inzwischen größere Seefläche berücksichtigt:

Die Badenutzung stellt nicht nur wegen der Beeinträchtigung von Tier- und Pflanzenlebensräume eine mögliche Belastung für das Gewässer dar, sondern auch wegen des Eintrags eutrophierungsrelevanter Stoffe. Nach LFU (2004), SCHULZ 1981 (zitiert aus DGL 1995), SCHARF & SCHMITT-LÜTTMANN 1990 und ZIMMERMANN 1991 (zitiert aus BOOS & STROHM 1995) geben Badende pro Tag ca. 1,8 g N und 0,1 g P durch körperliche Ausscheidungen an das Wasser ab.

Für die Abschätzung der Nährstoffbelastung durch Badende wird von einer Annahme von 500 Besuchern an 60 Badetagen im Sommer ausgegangen. Unter der oben gemachten Annahme ist der See derzeit wie folgt belastet:

Tabelle 9: Stickstoff- und Phosphorflächenbelastung durch Badenutzung

Nährstoffe	Eintrag pro Badegast	Badegäste	Badetage	jährlicher Gesamteintrag	Flächenbelastung	tolerierbarer Wert	kritischer Wert
	[mg]			[kg/ha]	[g/m ²]	[g/m ²]	[g/m ²]
Phosphat-P	100	500	60	0,091	0,009	< 0,25	> 0,5
Nitrat-N	1.800	500	60	1,64	0,16	< 4	> 8

Die Flächenbelastung liegt sowohl beim Phosphor als auch beim Stickstoff jeweils deutlich niedriger als der tolerierbare Wert entsprechend dem Nährstoffbelastungskonzept nach VOLLENWEIDER (1979).

Bei der Badenutzung ist zu bedenken, dass die Nährstoffzufuhr auf die Sommermonate konzentriert ist. Außerdem werden die eutrophierenden Substanzen in die trophogene Schicht eingebracht und stehen somit dem Algenwachstum direkt zur Verfügung.

Bezieht man den Nährstoffeintrag ausschließlich auf das Wasservolumen des Epilimnions (bei gesch. 3,5 m Mächtigkeit: 1.149.050 m³) errechnet sich für Phosphat eine Nährstoffkonzentration von 2,6 µg/l allein aus der Badenutzung (entspricht immer noch einem oligotrophen Zustand nach Tabelle 2 und 3).

Im Bereich der nördlichen Badebucht sind die Ufer flach abgebösch, so dass der größte Teil der Seefläche in der trophogenen Zone liegt. Im Sediment abgelagerte Nährstoffe stehen durch die Aufwirbelung auch im Sommer unmittelbar für die Bioproduktion zur Verfügung. Der Eutrophierungsprozess wird daher in diesem Teilbereich des Sees schneller ablaufen.

Fazit:

Mit den heutigen Besucherzahlen und der daraus errechneten Flächenbelastung stellt die Badenutzung in der zur Zeit betriebenen Form nur ein geringes Eutrophierungspotenzial dar.

9.3 Eutrophierungspotenzial durch Angelnutzung

Die Abschätzung der Auswirkungen durch Angelnde wird analog der vorangegangenen UVPs durchgeführt. Es wird aber die inzwischen größere Seefläche berücksichtigt. Aktuelle Daten über Besitz- und Fangzahlen bzw. Zufütterung liegen nicht vor. In einem konservativen Ansatz werden deshalb die Daten von 1996 wiederverwendet.

Bestand

Der Waldmattsee wird seit Bestehen fischereiwirtschaftlich im Rahmen der Angelfischerei genutzt.

Zur Bestandserhaltung wurden bis 1996 ca. 600 kg Fische jährlich im Wechsel der verschiedenen Arten eingesetzt. 1990-96 lag die Fangmenge, nach Auswertung der Fanglisten bei ca. 400 kg Gesamtfischmenge im Jahr. Eine Zufütterung findet nicht statt.

Ertragsfähigkeit des Gewässers

Die fischereiliche Bewirtschaftung sollte sich in erster Linie an der Ertragsfähigkeit des Gewässers orientieren. Diese kann mittels aufwendiger Verfahren durch die Bestimmung von Biomasseparametern oder in einer guten Annäherung mit dem MEI-Index ermittelt werden.

Oligotrophe Gewässer liefern einen natürlichen Ertrag von 5 kg/ha Fisch, in eutrophen können bis zu 50 kg/ha erzielt werden (SCHARF 1989, SCHARF & SCHMIDT-LÜTTMANN 1990).

Für Baggerseen lassen sich in erster Annäherung die Ertragswerte mit Hilfe des Mei-Index (Morpho-Edaphic-Index) ermitteln. Der Mei-Index berechnet die Ertragsfähigkeit eines Gewässers in Kilogramm pro Hektar und Jahr nach der Formel:

$$\text{Mei}(\text{kg}/\text{ha} \cdot \text{a}) = \text{Leitfähigkeit } (\mu\text{S}/\text{cm}) / \text{mittlere Tiefe (m)}$$

Bei Baggerseen dürfte allerdings aufgrund der fehlenden Uferentwicklung, der infolge der großen Wassertiefe und des Grundwasserzuflusses niedrigen Wassertemperatur sowie wegen der starken Ufersteilheit die tatsächliche Ertragsfähigkeit im allgemeinen deutlich geringer sein (RITTER 1981).

Legt man die mittlere Tiefe des Waldmattsee von ca. 26 Metern (siehe Tabelle 1) und einen Leitfähigkeitswert von $630 \mu\text{S}/\text{cm}$ an, dann ergibt sich ein Ertragswert von ca. 24 kg/ha.

Dieser Wert dürfte allerdings im oligotrophen Zustand während der Auskiesungsphase kaum erreicht werden. Die tatsächlichen Fangmengen von 400 kg/ha wurden damit mit Sicherheit auch durch den Fischbesatz unterstützt.

Belastungen

Nach Angaben des Angelsportvereins wurden 200 kg Fisch pro Jahr mehr eingesetzt als durch die Angelei entnommen wurden. Da hierbei oft viele eingesetzte Fische als Folge des zu hohen Populationsdrucks und der fehlenden Ernährungsbasis eingehen, kommt es durch die aus der Biomasse der toten Fische freigesetzten N- und P-Verbindungen zu einer Erhöhung des Nährstoffgehaltes im See.

Unter der Annahme, dass jährlich 200 kg Frischfisch im See verbleiben und pro Kilogramm mit einem Gesamtphosphorgehalt von 2,13 g (frische Muskelsubstanz vom Hecht: aus SCHÄPERCLAUS 1961) gerechnet werden kann, ergibt sich folgende Belastung.

Tabelle 10: Phosphorflächenbelastung durch Angelnutzung

Nährstoffe	Eintrag pro kg Frischfisch	jährlicher Gesamteintrag	Flächen- belastung	tolerierbarer Wert	kritischer Wert
	[g]	[kg/ha]	[g/m ²]	[g/m ²]	[g/m ²]
Phosphor	2,131	0,013	0,0013	< 0,25	> 0,5

Nach Angaben des Angelvereins findet keine Zufütterung statt. Auf eine Berechnung dieser Nährstoffeinträge wird daher verzichtet.

Bewertung

Die aktuelle Ertragsfähigkeit des Gewässers ist gering. Die fischereiliche Bewirtschaftung erfolgte (zumindest bis 1996) nicht entsprechend der natürlichen Ertragsfähigkeit des Sees. Es fand ein Überbesatz mit Fischen statt.

Die Ergebnisse der Flächenbelastung durch Nährstoffe zeigen, dass aktuell die Nährstoffzufuhr durch Fischbesatz allein keine wesentliche Eutrophierungsgefährdung darstellt, wenn Düngung und Anfütterung unterbleiben. Sie liegen bei den P-Einträgen etwa bei 15 % des P-Eintrags durch die Badenutzung.

Neben der Eutrophierung durch Nährstoffeinträge kann auch ein nicht angemessener Fischbesatz durch Störungen im Nahrungsnetz zur einer vermehrten Planktonentwicklung führen (Ichtyoeutrophierung).

9.4 Rücklaufwasser der Kieswaschanlage

Bestand

Das Kieswaschwasser aus der Kiesproduktion wird i. d. R. in den See zurückgeführt. Es enthält eine große Menge an Feinbestandteilen. Phosphor ist mineralisch fest gebunden und deshalb als Pflanzennährstoff nicht verfügbar.

Nach Auskunft der Fa. Vogel-Bau werden zur Kieswäsche jährlich ca. 180.000 m³ Wasser im Kreislauf geführt. Die Entnahme des Wassers erfolgt in 3 m Tiefe ca. 10 m vom Ostufer entfernt. Es kann davon ausgegangen werden, dass Wasserverluste durch Verdunstung in einer Größenordnung von 15% - 20% (= 31.500 m³) liegen.

Die Feinsand- und Schluffanteile werden im Anschluss durch eine zweistufige Feinsandwaschanlage (1. Stufe: Zyklon 2. Stufe: Auswaschmaschine) geführt und ins Absetzbecken geleitet. Der restliche Feinsandanteil sedimentiert fast vollständig in diesen Rückspülbecken.

Die absetzbaren Stoffe im Auslauf der Absetzbecken wurden nach DIN 38409 Teil 2 und Teil 9 im Labor der Fa. Vogel-Bau untersucht.

Nach Untersuchungsbefund liegt der Durchschnittswert bei 0,2 ml/l
Der zulässige Wert für absetzbaren Stoffe von < 0,3 ml/l
wird somit eingehalten.

Belastung

Nach den oben gemachten Angaben laufen somit jährlich ca. 148.500.000 l Wasser mit einem Anteil von 0,2 ml/l absetzbaren Stoffen in den Baggersee zurück.

Geht man von einer Trockensubstanz von durchschnittlich 61,7% (aus: Sedimentanalysen) und einer Feststoffdichte von 1,8 kg/dm³ aus, werden jedes Jahr 32.931 kg absetzbare Stoffe in den See zurückgeführt.

Bei einem Gesamtphosphorgehalt im Sediment von durchschnittlich 530 mg/kg Trockensubstanz (siehe Sedimentanalyse) ergibt sich ein Phosphoreintrag von 17.453 g/Jahr. Die Konzentration im Kieswaschwasser beträgt demnach im Mittel 0,1175 g/m³, was (isoliert betrachtet) einem „eutrophen“ Zustand entspräche (hohes Eutrophierungspotenzial).

Analog berechnen sich die Werte für Stickstoff.

Table 11: *Stickstoff- und Phosphorflächenbelastung durch Rücklaufwasser der Kieswaschanlage*

Nährstoff	Wassermenge	Gesamteintrag	Konzentration Kieswaschwasser	Flächenbelastung	tolerierbarer Wert	kritischer Wert
	[m ³ /Jahr]	[g]	[mg/l]	[g/m ²]	[g/m ²]	[g/m ²]
Phosphor	148.500	17.453	0,1175	0,0531	< 0,25	> 0,5
Stickstoff	148.500	18.441	0,1242	0,056	< 4	> 8

Bewertung

Die Flächenbelastung durch die Rücklaufwasser der Kieswaschanlage liegen unter den tolerierbaren Werten. Der „eutrophe“ P-Zufluss wirkt sich nicht aus, da im Vergleich zum Baggerseeesamtvolumen nur wenig Kieswaschwasser eingespült wird.

Rein rechnerisch ergibt sich durch die Einleitung von Rückspülwässern ein geringes bis mittleres Eutrophierungspotenzial. Die errechneten P-Einträge durch Kieswaschwasser liegen 5-6-mal so hoch wie durch die Badenutzung.

Da die Wasserentnahme nicht aus der Tiefe erfolgt, besteht nicht die Gefahr, dass eutrophierungsrelevante Stoffe während der Sommerstagnation künstlich in die trophogene Zone verfrachtet werden.

Der an das Rückspülmaterial gebundene Phosphor ist i.d.R. nicht direkt pflanzenverfügbar. Es ist außerdem davon auszugehen, dass im Seewasser gelöste Phosphorverbindungen an den eingeleiteten Tonmineralien adsorbieren und durch Absinken in die Tiefe dem System entzogen werden (LFU, 2004): BOOS & STROHM (1995) vermuten, dass die eingeschwemmten Schlämmaterialien möglicherweise zur Oligotrophierung bei-

tragen. Dies kommt insbesondere in Frage, wenn an den Feinmaterial-Teilchen nicht alle Bindungsstellen für Phosphor gesättigt sind.

9.5 Weitere Nährstoffbelastungen

BOOS & STROHM (1995) führen eine Reihe weiterer potenzieller Nährstoffbelastungspfade auf, die im Regelfall kein oder nur ein geringes Eutrophierungspotenzial darstellen.

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Literaturrecherche “Konfliktarme Baggerseen” zusammengestellt. Eine genaue Quantifizierung ist nicht möglich oder mit aufwendigen Untersuchungen verbunden.

– Falllaubeintrag

Der Falllaubeintrag aufgrund der Größe des Sees als nicht erheblich einzuschätzen, zumal nur das Westufer bewaldet ist. Die Hauptwindrichtung ist Süd bis Südwest.

– Wasservögel

Selbst bei einer hohen Vogeldichte erreichen die Einträge durch Wasservögel nur einen geringen Anteil am gesamten Phosphor-Import (BOOS & STROHM (1995). Bezogen auf die Wasservögel könnten allenfalls Fütterungsmaßnahmen zu einer deutlichen Beeinträchtigung führen. Die Bestandsdichte der Wasservögel am Waldmattsee ist aktuell sehr gering (2021).

– Dränwasser

Mit relevanten Phosphorbelastungen im Dränwasser ist dann zu rechnen, wenn die oberstromigen Bereiche aufgrund geringer Grundwasserflurabstände nicht landwirtschaftlich genutzt werden können oder wenn durch oberstromige Grundwasserabsenkung durch den Baggersee anmoorige Böden mineralisiert werden und P freisetzen (BOOS & STROHM (1995).

Die Bereiche oberstromig des Waldmattsees werden landwirtschaftlich genutzt, mit P befrachtetes Dränwasser kann hier u.U. bei Überdüngung oder im Winterhalbjahr anfallen, wenn bei fehlendem Pflanzenwachstum dem Boden keine Nährstoffe mehr entzogen werden. Anmoorige Böden treten nicht auf.

– Bodenverlagerung und Erosion

Die Eutrophierungsgefahr durch erosive Prozesse (Bodenumlagerung) erscheint eher gering, da die Rücklösungsraten eingespülten Feinmaterials sehr niedrig sind und die organische Auflage der Seesedimente stets aufs neue überdeckt wird (BOOS & STROHM (1995). Zudem besteht im weitgehend ebenen Umland des Baggersees eine zu geringe Reliefenergie für Erosions- oder sonst. Verlagerungsprozesse.

– Straßenentwässerung

Auf der Grundlage der in BOOS & STROHM (1995) gemachten Angaben geht auch von der Straßenentwässerung nur ein geringes Eutrophierungspotenzial aus. Die K5342 besitzt einen Minimalabstand von

25 m zum See im Norden. Vorbeiführende Feldwege werden nur rel. selten benutzt. Ebenso ist vom Verkehr auf den Betriebsflächen östlich des Baggersees nur von einem geringen Eutrophierungspotenzial auszugehen.

– Niederschlag

Nach WAGNER & BÜHLER (1989) in BOOS & STROHM (1995) und LFU (2004) kann der P-Eintrag über Niederschläge 0,88 kg P /ha betragen (entsprechend 0,088 g/m²). Damit wird der tolerierbare bzw. kritische Wert nach VOLLENWEIDER (1979: 0,25-0,5 g/m²) nicht erreicht.

Der Eintrag durch das Niederschlagswasser ist daher als einer von mehreren untergeordneten Pfaden zu betrachten. Er überschreitet die geschätzten Werte durch die anderen Belastungspfade „Badenutzung“, „Angelnutzung“ und „Kieswaschwasser“.

Fazit:

Die überschlägige Abschätzung der oben genannten Belastungspfade kommt zu dem Ergebnis, dass am Waldmattsee keine überdurchschnittlich ins Gewicht fallende Nährstoffeintragungspotenziale vorhanden sind. Kleinere, sich summierende Beiträge am Waldmattsee können Drän- und Niederschlagswasser liefern.

9.6 Zusammenfassende Bewertung

Nach bisherigem Kenntnisstand besteht Kontakt zum Grundwasseraquifer. **Grundwasser** stellt in der Regel den Haupteutrophierungspfad im Falle von Baggerseen dar.

Das potenzielle Einzugsgebiet des Waldmattsees wird zum Großteil intensiv ackerbaulich genutzt. Die gemessene Nährstoffkonzentrationen (P und N) im Grundwasser waren im Beobachtungszeitraum 2009-2021 höher als noch 1996-2008 (seinerzeit „niedrige“ Konzentrationen).

Aktuell wird ein **mittleres bis hohes** Eutrophierungspotenzial durch das oberstromige Grundwasser angenommen.

Alle anderen potenziellen Belastungspfade erreichen auch zusammengenommen nicht die angegebenen tolerierbaren oder kritischen Werte bez. der Phosphor-Belastung:

Belastungspfad	Flächenbelastung g P/m ²	tolerierbarer Wert g P/m ²	kritischer Wert g P/m ²
Badenutzung	0,009		
Angelnutzung	0,0013		
Kieswaschwasser	0,0531		
Niederschläge	0,088		
Summe	0,1514	< 0,25	> 0,5

Fazit:

Nach den theoretischen Überlegungen stellt das oberstromige Grundwasser die hauptsächliche Eutrophierungsquelle für den Baggersee dar, welcher an den Aquifer angebunden ist. Es kann die Hälfte der tolerierbaren P-Konzentration erreicht werden.

Alle anderen Eintrittspfade spielen wohl eine untergeordnete Rolle und erreichen zusammengenommen ca. 60 % des tolerierbaren Wertes.

Zusammengenommen kann damit der tolerierbare Wert knapp überschritten werden.

10 Prognose der Gewässerentwicklung und Konfliktbewertung

10.1 Allgemeines zur Sukzession von Baggerseen

Alle stehenden Gewässer sind einem natürlichen Eutrophierungsprozess unterworfen. Durch das Ausbringen von Nährstoffen in den letzten Jahrzehnten werden heute die natürlichen Eutrophierungsvorgänge beschleunigt.

Eine typische Eigenschaft von Baggerseen ist, dass sie nach Beendigung der Auskiesung sehr schnell „altern“. Während des Abbaus werden bestehende Belastungen relativ gut kompensiert:

Nach Beendigung des Kiesabbaus sedimentieren die durch den Baggerbetrieb aufgewirbelten Tonteilchen. Das Wasser wird klar und die lichtdurchflutete produktive Wasserschicht wird mächtiger. Das Wasservolumen, in dem Biomasse aufgebaut wird, wird größer. Gleichzeitig verbessert sich die Nährstoffversorgung: Der aus externen Quellen zur Verfügung stehende Phosphor wird nicht, wie bisher, durch Bindung an Tonteilchen, Sedimentation und anschließende mineralische Überdeckung dem Stoffhaushalt entzogen, sondern steht

direkt den produktiven Prozessen in der lichtdurchfluteten Zone zur Verfügung.

Die während der Vegetationsperiode produzierte Biomasse stirbt ab und sammelt sich in Baggerrinnen und Senken am Seeboden. Es bildet sich eine organische Auflage, bei deren Abbau Sauerstoff verbraucht wird. Es kann, besonders in tiefen Seen, mittelfristig zur lokalen Ausbildung anaerober Bereiche im Sommer kommen. Durch Zirkulationsvorgänge im Herbst und Frühjahr werden diese aufgelöst und die am Seeboden mineralisierten Nährstoffe in die produktive trophogene Zone verlagert. Der Kreislauf beginnt von neuem mit der Produktion von Biomasse. Ein Endzustand dieser Entwicklung wird erst dann erreicht, wenn sich zwischen den externen Nährstoffeinträgen und den internen Stoffumsätzen im See Gleichgewichte eingestellt haben.

Dem System werden über die verschiedenen Eintragswege Phosphor zugeführt. Es kommt zur Akkumulation dieses Nährstoffes im Sediment, da der Phosphor im Gegensatz zum Stickstoff nicht mehr aus dem System entweichen kann (über N_2). Wenn der gesamte Gewässergrund mit biogenen Ablagerungen bedeckt ist, können Sauerstoffarmut, pH-Wert-Verschiebungen und das Absinken des Redoxpotenzials die für alle stark eutrophen bis hypertrophen Seen charakteristische Phosphorrücklösung aus dem Sediment einleiten. Dieser Vorgang wird als interne Düngung bezeichnet. In deren Folge findet eine erhöhte Produktion an Biomasse statt. Neben Phosphor werden auch andere Ionen (Eisen, Mangan) und z.T. toxische Stoffe, insbesondere Schwefelwasserstoff und Ammoniak aus dem Sediment freigesetzt. Dieser Zustand wird durch eine starke Zunahme der Leitfähigkeit über Grund charakterisiert. Als Folge der chemischen Stratifikation können u.U. meromiktische Verhältnisse entstehen.

Neben der Morphometrie des Seebeckens und seiner Lage im Grundwasserströmungsfeld bestimmen in erster Linie der Zustand des Umfeldes die Startbedingungen des neu von Menschenhand geschaffenen Ökosystems. Die bestehenden Belastungen müssen abgeschätzt werden, um den beschriebenen schädlichen Eutrophierungsprozessen (P-Rücklösung, Meromixis) vorbeugen zu können.

10.2 Prognose der weiteren Entwicklung

10.2.1 Nährstoffhaushalt

Bestand (= Null-Variante):

Es gibt im oberstromigen Grundwasser aktuell Hinweise auf anthropogen verursachte Beeinträchtigungen der Gewässerqualität durch Düngestoffe, organische Verunreinigungen oder sonstige Abwässer. Der der Baggersee ist an den Aquifer angeschlossen, oberstromig wird intensiver Ackerbau betrieben.

So ist derzeit theoretisch von einem mittleren bis hohen Eutrophierungspotenzial über den Grundwasserpfad auszugehen.

Mit zunehmender Eutrophierung gewinnt auch die biogene Sohlabdichtung an Bedeutung, so dass der Grundwasserzuström über die Ufer bzw. über den Seeboden abnehmen wird. Dies vermindert den Zuström von Nährstoffen aus dem Grundwasser und die Nährstoffmobilisierung aus dem Sediment durch Seebodeneinsickerung. Eine Ufer- und Sohlabdichtung muss daher im Zusammenhang mit dem Eutrophierungsgeschehen positiv bewertet werden, da für die Hauptlast des Nährstoffeintrags der Grundwasserzufluss verantwortlich ist. Die Abdichtung durch organische Sedimente wird jedoch erst zu einem späteren Stadium des Eutrophierungsprozesses einsetzen. Eine vollständige Abdichtung wird vermutlich nicht erreicht werden, so dass mit lokalen Einsickerungsprozesse bei mehr oder weniger mächtigen organischen Auflagen und Nährstoffausspülungen gerechnet werden muss.

Es wird davon ausgegangen, dass in den ersten Jahren nach Beendigung des Abbaus zunächst deutliche Eutrophierungserscheinungen messbar werden. Insbesondere auch deshalb, weil im oligotrophen Zustand bereits geringe Phosphorbelastungen zu einer deutlichen Zunahme der Biomasseproduktion führen.

In den Folgejahren wird sich der Eutrophierungsgeschwindigkeit verlangsamen und auf ein bestimmtes Niveau einpendeln. Die Nährstoffbelastungen sind jedoch nicht so hoch, dass mit einer „rasanten Eutrophierung“ gerechnet werden muss. Bei gleich bleibender Nutzung durch die Landwirtschaft im Einzugsgebiet wird sich der See jedoch mittel- bis langfristig zu einem eutrophen Gewässer entwickeln. Ein „Umkippen des Gewässers“ ist bei der jetzigen Belastung mittelfristig nicht zu erwarten, wenn der See regelmäßig durchmischt.

Bestand mit Erweiterung:

Von Bedeutung für die weitere Entwicklung ist, ob sich die derzeitigen Nährstoffverhältnisse in der Umgebung durch die geplante Erweiterung gegenüber der heutigen Situation wesentlich verändern

Hiervon ist nicht auszugehen, da mit der Erweiterung

- nicht näher an eutrophierungsrelevante Quellen herangerückt wird, etwa Straßen, Siedlungen
- neue eutrophierungsrelevante Nutzungen nicht angeschnitten oder erschlossen werden, etwa Schaffung neuer Badeufer oder Hinzukommen zusätzlicher intensiv genutzter Ackerflächen im Einzugsgebiet: Die Ackerfläche im Einzugsgebiet bleib ca. gleich.

Die Erweiterung des Waldmattsees ist daher mit Hinblick auf mögliche zusätzliche Nährstoffbelastungen als nicht kritisch zu bewerten. Durch die geplante Erweiterung wird die oben geschilderte Entwicklungsdynamik des Baggersees nicht entscheidend beschleunigt oder verlangsamt.

10.2.2 Zirkulationsverhalten und Sauerstoffhaushalt

Entscheidend für die mittel- bis langfristige Prognose des Gütezustandes sind auch die zu erwartenden Sauerstoffverhältnisse im Tiefenwasser und die Frage, ob während des Winterhalbjahres eine ausreichende Regeneration möglicher Sauerstoffdefizite durch Vollzirkulation erreicht wird.

Die Untersuchungsergebnisse haben gezeigt, dass derzeit aufgrund der sicheren jährlichen Durchmischung keine sauerstofffreien Zonen über Grund entstehen. Eine Beeinträchtigung durch den Zufluss des sauerstoffarmen Grundwassers aus der Umgebung war anhand der Analysewerte ebenfalls nicht nachzuweisen. Mit der Erweiterung vergrößert sich der Baggersee von derzeit 26,62 ha (genehmigt) auf 32,83 ha; damit wird auch die Windangriffsfläche (Hauptwindrichtung Süd/Südwestwind) vergrößert und das Oberflächen-Volumenverhältnis verbessert. Beides wirkt sich positiv auf das zukünftige Zirkulationsverhalten aus.

In der Regel ist bei einer Vergrößerung von tiefen Baggerseen (hier: 60 m), v.a. entlang der Hauptwindrichtung, von einer langfristig besseren Gewässergüte auszugehen (bessere Durchmischungsverhältnisse), solange nicht neue Eutrophierungsquellen aufgeschlossen werden.

Die Erweiterung des Waldmattsees ist daher bezüglich Zirkulationsverhalten und Sauerstoffhaushalt als positiv zu bewerten.

10.3 Konfliktbewertung

Große und tiefe Seen sind weniger eutrophierungsanfällig als Kleinseen. Die Ausgangsbedingungen für einen erwünschten, langsamen Sukzessionsverlauf sind durch die verlängerte Abbauphase günstig. Dies betrifft das zu erwartende Zirkulationsverhalten der Gewässer und die zu erwartenden Nährstoffbelastungen im See. Eutrophierungserscheinungen sind erst nach Abbauphase zu erwarten.

Die grundwasserseitigen Voraussetzungen zur Erstellung eines Baggersees nach Leitfaden (LFU 2004) bezüglich aller Parameter werden z.T. nicht eingehalten:

- Zielvorgaben für Phosphor- und Sulfatkonzentrationen oberstromig des Nassabbaus ($< 0,015$ mg P/l bzw. < 100 mg SO_4 /l) werden überschritten.

Dies kann in der weiteren Seenentwicklung eine schnellere Eutrophierung (durch P-Zufuhr aus dem Grundwasser) bzw. die Bildung von H_2S am Seengrund (durch SO_4 -Zufuhr aus dem Grundwasser) begünstigen.

- Ein jährliches Durchmischen des Wasserkörpers im geplanten Baggerseen bleibt aber gewährleistet.

Der Status-Quo des Baggersees ist daher mit Hinblick auf die Gewässergüte als nicht unkritisch zu bewerten. Mit der Baggerseeerweiterung werden aber gegenüber dem Status-Quo keine zusätzliche Nährstoffbelastungen prognostiziert. Die Möglichkeit zur vollständigen Seendurchmischung und daher die Sauerstoffverhältnisse über Grund können sich mit der Erweiterung gegenüber dem Status-Quo verbessern.

Daher entsteht mit dem Erweiterungsvorhaben bezüglich des Schutzgutes „Limnologie“ **kein Konflikt**.

11 Maßnahmenempfehlungen

Es ist ein Kompromiss zu finden zwischen den limnologischen Anforderungen auf der einen Seite und den Zielvorstellungen in den Bereichen Ökologie und Umweltschutz sowie Baggerbetrieb und Wirtschaftlichkeit der Rohstoffentnahme auf der anderen Seite.

Bezüglich der morphometrischen Gestaltung zur Vermeidung von meromiktischen Zuständen werden generell alle schichtungsstabilisierenden Prozesse und Steuerparameter als negativ beurteilt. Alle Prozesse, welche thermische und haline (chemische) Schichtungen bzw. Gradienten abschwächen, wirken dagegen positiv.

11.1 Morphologie und Ausrichtung der Seen

- Morphologie: Halbinseln, Inseln, Einbuchtungen sollen auf das notwendige Minimum beschränkt werden. Inseln und Halbinseln beeinträchtigen die Zirkulation.
- Morphologie: Beim Abbau sollte eine möglichst große, gleichmäßig tiefe Fläche unter Wasser entstehen. Die Zirkulation sollte durch die Gestaltung der Böschungen und des Seebodens nicht behindert werden. Gräben, Rinnen und lokale Vertiefungen am Seeboden sollten möglichst vermieden werden, damit auch diese Bereiche an der Durchmischung des Wasserkörpers teilnehmen und regenerieren können.
- Seenausrichtung: Um den Windangriff als einen Motor der Zirkulation zu optimieren, wird allgemein empfohlen, die Seenlängsachse entlang der Hauptwindrichtung zu legen (hier: S, SW). Um das Fließfeld des Grundwassers (Grundwassergefälle, -spiegeländerungen) möglichst wenig zu stören, soll ein Baggersee quer zur Grundwasserfließrichtung ausgerichtet werden (hier: von Nord nach Süd). Im Falle der geplanten Erweiterung am Waldmattsee wird in erster Linie das erste Ziel erfüllt (Verlängerung der Windangriffsstrecke).

Abschattungen durch Bepflanzungen, Ufererhöhung, Gebäude etc. wirken der windbedingten Vermischung des Wassers entgegen und sollen daher vermieden werden.

11.2 Uferböschungen

„Der Uferbereich und die Flachwasserzone (Litoral) stehender Gewässer haben einen maßgeblichen Einfluss und steuernde Wirkung auf die limnologische Beschaffenheit des Sees. Ein intaktes Litoral ist von einer artenreichen Flora und Fauna besiedelt und ist durch einen hohen Stoffumsatz charakterisiert. Ausgedehnte Flachwasserzonen fördern den Abbau organischer Bestandteile und erhöhen deren Mineralisierung. Auch Schadstoffe werden durch die Selbstreinigung schneller reduziert. Daneben werden Austauschvorgänge mit dem Freiwasser (Pelagial) gefördert und das Mikroklima günstig beeinflusst. Für viele Fischarten sind diese Zonen als Laich- und Aufwuchsbereiche unerlässlich. Auch das Nahrungsgefüge einer artenreichen aquatischen Lebensgemeinschaft ist eng an diese reichhaltigen Lebensräume gekoppelt“ (LfU 2004).

Der Leitfaden (LfU 2004) empfiehlt Böschungsneigungen von 1 : 2,5 m im Unterwasserbereich und mindestens

1 : 4 bis 1 : 6 im Bereich der Wechselwasserzone (zwischen Niedrig- und Hochwasser).

Am Waldmattsee sollen > 10 % Flachwasserzone (Neigung \leq 1 : 8,5; bis 2 m Wassertiefe) entstehen.

Im Falle der Süderweiterung entstehen ca. 11% Flachwasserzonen im Gesamtsee.

11.3 Minimierung von Nährstoffeinträgen

- Nährstoffeinträge sollen soweit wie möglich verhindert werden. Wenn möglich, sollten Flachwasser-/Uferzonen parallel zur Grundwasserfließrichtung möglichst breit angelegt werden, um Zuflüsse maximal abpuffern zu können.
Eine starke zusätzliche Entlastung wäre die Extensivierung von Landwirtschaftsflächen im Einzugsgebiet. An das Südufer anschließend wäre außerdem ein breiter, nicht genutzter Pufferstreifen zwischen Landwirtschaft und Baggersee-Uferzone hilfreich, um Nährstoffeinträge zusätzlich zu minimieren.
- Nährstoffeinträge über oberstromiges Grundwasser sollen weiter beobachtet werden.
- Es sollte auf eine extensive Folgenutzung gedrängt werden. Freizeit- und Angelnutzung sollten sich zukünftig nicht verstärken. Die gesetzlich vorgeschriebene fischereiliche Hegepflicht soll in eine extensive

Bewirtschaftungsweise münden (keine Zufütterung, standortgerechter Fischbestand bezüglich Anzahl und Artenspektrum).

12 Zusammenfassung

Die Fa. Vogel-Bau betreibt am Waldmattsee bei Kippenheimweiler den Abbau von Kies und Sanden. Begleitend zum Abbaugeschehen werden gemäß der Genehmigungsaufgaben Gewässeruntersuchungen durchgeführt (Seewasser, Grundwasser ober- und unterstromig).

Für das vorliegende Gutachten wurden die Untersuchungen aus den Jahren 2010-2021 ausgewertet und mit denen aus dem vorangegangenen Beobachtungszeitraum (1996-2009: UVP 2011). Auf dieser Grundlage wurde die voraussichtliche Entwicklung des Trophiezustandes und der Gewässergüte unter Berücksichtigung der Wechselwirkungen mit dem Grundwasser, der natürlichen Seenalterung, der Seenmorphometrie und der Nutzung des Sees und seines Einzugsgebietes abgeschätzt. Die Auswirkungen der geplanten Erweiterung auf die Limnologie des Baggersees wurden abgeschätzt und eine Konfliktbewertung abgegeben. Das letzte Kapitel enthält mögliche Maßnahmenvorschläge zur Verbesserung der Gewässergüte.

Die aufgenommenen Tiefenprofile zeigen eindeutig, dass der Baggersee trotz seines ungünstigen Oberflächen-/Tiefenverhältnisses regelmäßig durchmischt. Das Gewässer ist bis zum Seeboden ausreichend mit Sauerstoff versorgt. Es gibt bislang keine Hinweise auf eine morphometrisch oder halin bedingte Meromixis. Die vollständige Durchmischung ist Grundlage für die gute Sauerstoffversorgung des Gewässers und den guten Gewässergütezustand.

Der Vergleich von Grundwasser- und Seewasserproben zeigen, dass der Baggersee gegenüber dem Grundwasseraquifer angebunden ist.

Die Ergebnisse der chemischen Wasseranalysen belegen, dass bezüglich der eutrophierungsrelevanten Parameter noch von einem eher oligotrophen Gütezustand ausgegangen werden kann. Der niedrige Startphosphor zu Beginn der Vegetationsperiode und die daraus erwachsende Chlorophyllkonzentration zeigen ein nur geringes Biomassewachstum an. Eine Belastungssituation ist nicht erkennbar. Bis heute kann keine erhebliche Nährstoffanreicherung im Sediment festgestellt werden.

Kenngroßen für kritisch belastete Baggerseen nach LFU (2004), die einen zukünftig höheren Untersuchungsaufwand rechtfertigen, treten nicht auf. Die Kenngroßen für Chlorophyll, Sichttiefe, Gesamt-Phosphor, Schwefelwasserstoff, Ammonium, den Anteil der sauerstoffarmen Schicht, Zirkulationsfähigkeit und Fischsterben bleiben unterschritten.

In der Bewertung 2009-2021 werden die selben Ergebnisse wie im vorangegangenen Beobachtungszeitraum 1996-2008 erreicht. Leichte Abweichungen ergeben sich bezüglich:

- **Sauerstoffprofil:** Im Beobachtungszeitraum 2009-2021 verringerte Sauerstoff- und erhöhte Leitfähigkeitswerte im Tiefenwasser. Die Messwerte sind aber noch in keiner Weise bedenklich.
- **Anbindung Seewasser zum Grundwasser:** 2008 wurde noch eine gute Anbindung des Seewasserkörpers an das Grundwasser postuliert. Diese Aussage wird 2021 relativiert: Eine Anbindung ist vorhanden, die beobachteten Messwerte in Grund- und Seewasser legen aber keine „gute“ Anbindung nahe (rel. geringe Austauschrate, rel. hohe mittl. Aufenthaltsdauer).
- **Phosphat im Grundwasser:** Gegenüber dem Beobachtungszeitraum 1996-2008 wurden im oberstromigen Grundwasser mehr Phosphat nachgewiesen. Dies spricht für ein gewisses Eutrophierungspotenzial des Grundwassers auf den Baggersee (z.B. Einträge von Nährstoffen durch die Landwirtschaft).

Nach bisherigem Kenntnisstand besteht Kontakt zum Grundwasseraquifer. **Grundwasser** stellt in der Regel den Haupteutrophierungspfad im Falle von Baggerseen dar.

Das potenzielle Einzugsgebiet des Waldmattsees wird zum Großteil intensiv ackerbaulich genutzt. Die gemessene Nährstoffkonzentrationen (P und N) im Grundwasser waren im Beobachtungszeitraum 2009-2021 höher als noch 1996-2008 (seinerzeit „niedrige“ Konzentrationen).

Aktuell wird ein **mittleres bis hohes** Eutrophierungspotenzial durch das oberstromige Grundwasser angenommen.

Alle anderen potenziellen Belastungspfade erreichen auch zusammengenommen nicht die angegebenen tolerierbaren oder kritischen Werte bez. der Phosphor-Belastung.

Große und tiefe Seen sind weniger eutrophierungsanfällig als Kleinseen. Die Ausgangsbedingungen für einen erwünschten, langsamen Sukzessionsverlauf sind durch die verlängerte Abbauphase günstig. Dies betrifft das zu erwartende Zirkulationsverhalten der Gewässer und die zu erwartenden Nährstoffbelastungen im See. Eutrophierungserscheinungen sind erst nach Abbauphase zu erwarten.

Die grundwasserseitigen Voraussetzungen zur Erstellung eines Baggersees nach Leitfaden (LfU 2004) bezüglich aller Parameter werden z.T. nicht eingehalten:

- Zielvorgaben für Phosphor- und Sulfatkonzentrationen oberstromig des Nassabbaus ($< 0,015$ mg P/l bzw. < 100 mg SO_4 /l) werden überschritten. Dies kann in der weiteren Seenentwicklung eine schnellere Eutrophierung (durch P-Zufuhr aus dem Grundwasser) bzw. die Bildung von H_2S am Seengrund (durch SO_4 -Zufuhr aus dem Grundwasser) begünstigen.
- Ein jährliches Durchmischen des Wasserkörpers im geplanten Baggerseen bleibt aber gewährleistet.

Der Status-Quo des Baggersees ist daher mit Hinblick auf die Gewässergüte als nicht unkritisch zu bewerten. Mit der Baggerseeerweiterung werden aber gegenüber dem Status-Quo keine zusätzliche Nährstoffbelastungen prognostiziert. Die Möglichkeit zur vollständigen Seendurchmischung und daher die Sauerstoffverhältnisse über Grund können sich mit der Erweiterung gegenüber dem Status-Quo verbessern.

Daher entsteht mit dem Erweiterungsvorhaben bezüglich des Schutzgutes „Limnologie“ **kein Konflikt**.

Die geplante Erweiterung und die Folgenutzung sind aus limnologischer Sicht umweltverträglich gestaltbar.

13 Literatur

BOOS, K.-J. & F. STROHM (1995): Forschungs- und Untersuchungsvorhaben des Umweltministeriums Baden-Württemberg, Konfliktarme Baggerseen KABA, Literaturrecherche, Endbericht der Arbeitsgruppe 1, 134 S.

DGL (DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR LIMNOLOGIE) (1995): Untersuchung, Überwachung und Bewertung von Baggerseen

KLAPPER, H. (1992): Eutrophierung und Gewässerschutz, 1. Aufl., Jena: Fischer, 277 S.

LFU - LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG (1996): Baggerseeuntersuchungen in der Oberrheinebene – Auswertung der Sommerbeprobung 1994 und der Frühjahrsbeprobung 1995. Bearbeitet von Matthias, U. & Boos, K.J.

LFU (1997): Pilotprojekt „Konfliktarme Baggerseen“, Zusammenfassung der bisherigen Ergebnisse – Statusbericht – Handbuch Wasser 2, Karlsruhe

LFU (2001): Zustand der Baggerseen in der Oberrheinebene. Oberirdische Gewässer, Gewässerökologie 61. Karlsruhe

LFU (2004): Kiesgewinnung und Wasserwirtschaft. Empfehlungen für die Planung und Genehmigung des Abbaues von Kies und Sand. Oberirdische Gewässer, Gewässerökologie 88. Karlsruhe

MIETZ, O. & VIETINGHOFF, H. (1994): Zu den funktionellen Abhängigkeiten zwischen morphometrischen, topographischen und trophischen Kriterien von Seen, in Wasserwirtschaft 84 (1994) 12

RITTER, R. (1981): Auswirkungen von Fischintensivhaltungen auf die Qualität der Baggerseen und das umgebende Grundwasser: Eine Literaturstudie. Bericht der LfU BW, Inst. Für Wasser- und Abfallwirtschaft, unveröffentlicht.

SCHÄPERCLAUS, W. (1961): Lehrbuch der Teichwirtschaft, 2. Aufl., Berlin, Parey, 582 S.

SCHARF, B.W. (1989): Fischerei in Naturschutzgebieten. Z. Wasser-Abwasser-Forsch. 22, 235-239

SCHARF, B.W. & M. SCHMIDT-LÜTTMANN (1990): Umweltverträglichkeit bei der Bewirtschaftung stehender Gewässer. Wasserbau-Mitteilungen der Technischen Hochschule Darmstadt Nr. 34, 93-104.

VOLLENWEIDER, R. (1979): Das Nährstoffbelastungskonzept als Grundlage für den externen Eingriff in den Eutrophierungsprozess stehender Gewässer und Talsperren, Zeitschrift für Wasser- und Abwasserforschung 12, 46-56